

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

DANIJEL ŠIMIĆ

ENERGETSKI UČINKOVITA SKLADIŠTA KAO PODLOGA
KONCEPTU ZELENE LOGISTIKE

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2015

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

Energetski učinkovita skladišta kao podloga konceptu zelene logistike

The role of energy-efficient warehouses in the concept of green logistics

Mentor: dr. sc. Ivona Bajor

Student: Danijel Šimić, 0135213364

Zagreb, 2015

SAŽETAK

U radu je definirana funkcija skladišta u opskrbnom lancu, te konstrukcijska i tehnička rješenja samih skladišta. Analizirani su sustavi, odnosno skladišna oprema koja doprinosi ekološki prihvatljivom poslovanju, odnosno podržava ciljeve koncepta zelene logistike. Cilj je kroz implementaciju analiziranih sustava postići povećanje energetske neovisnosti, što je u radu opisano kroz analizu simulacije provedene u simulacijskom alatu EnergyPlus.

KLJUČNE RIJEČI: zelena logistika; skladišni objekti; ekološka učinkovitost; energetska učinkovitost

ABSTRACT

This work defines the warehouse function in the supply chain, such as structural and technical solutions of warehouses. There are analyzed systems, respectively storage equipment that contributes to environmentally friendly management and supports the goals of the concept of green logistics. The main goal is to achieve an increase in energy independence through the implementation of the analyzed systems, which is described in this work by analyze of simulations performed in the simulation tool EnergyPlus..

KEY WORDS: green logistic; storehouse facility; environmental efficiency; energy efficiency

Sadržaj

1	Uvod	1
2	Funkcija skladišnih sustava u opskrbnim lancima	2
2.1	Definicija skladištenja i zadaci skladišta	2
2.2	Skladišta u opskrbnom lancu	6
3	Konstruktivna i tehnološka rješenja skladišnih objekata i opreme	11
3.1	Skladišni objekti	11
3.2	Skladišna oprema	14
3.2.1	Regali	15
3.2.2	Automatski skladišni sustavi	22
3.2.3	Viličari	26
4	Ekološki učinkoviti skladišni objekti i oprema	29
4.1	Energetski pregled i energetska certificiranje objekata	34
4.1.1	Energetski pregled skladišnih objekata	36
4.1.2	Energetska bilanca skladišnog objekta	38
4.1.3	Analiza potrošnje energije i vode	41
4.2	Tehnologije koje omogućuju uštedu energije	45
4.2.1	Vanjska ovojnica	45
4.2.2	Rasvjeta i dnevna svjetlost	46
4.2.3	HVAC i SWH tehnologije	47
5	Primjer ekološki učinkovitih skladišnih rješenja	48
5.1	Osnovne karakteristike ovojnice objekta	48
5.1.1	Vanjska ovojnica objekta	49
5.1.2	HVAC sustav	56
5.1.3	Sustav tople vode	57
5.2	Pretpostavke za poboljšanje karakteristika objekta	58
5.2.1	Poboljšanja ovojnice objekta	58
5.2.2	Poboljšanje sustava rasvjete	62
5.2.3	Poboljšanja HVAC sustava	63
5.3	Troškovi uvođenja energetske učinkovitosti mjera i povrat investicija	65
5.4	Prijedlog načina vrednovanja ekološke učinkovitosti skladišnih objekata	67
6	Zaključak	70
7	Literatura	71
	Popis slika	72
	Popis tabela	72
	Popis dijagrama	73

1 Uvod

Klimatske promjene su jedan od najvećih izazova današnjeg vremena. Korisnici sve više očekuju od opskrbnog lanca da izračuna, preuzme odgovornost i smanji svoje ugljične emisije. Rast i učinkovitost u današnjem poslovanju moraju biti u ravnoteži s načelom nula otpada, obnovljivim izvorima energije i što nižim negativnim utjecajem na okoliš. Zelena logistika predstavlja viziju logistike koja svoje ciljeve izvršava na ekološki prihvatljiv način, ne ugrožavajući sredinu u kojoj djeluje, te pri tome reducira troškove. Svoju ulogu u tome imaju i energetske učinkovite skladišta.

U današnje vrijeme globalizacije, s aspekta distribucije proizvoda, cilj je prostorno i vremenski približiti proizvodnju i potrošnju, uz minimalne troškove. Također, potrebno je zadovoljiti potrebe krajnjeg korisnika, što uvjetuje konkurentnost na tržištu. Kako bi se zadržala konkurentnost na tržištu, neophodno je optimizirati efikasan opskrbeni lanac. Važna karika svakog opskrbenog lanca je skladište.

Skladište i skladišni procesi imaju važnu ulogu u odvijanju cjelokupnog distribucijskog lanca. Troškovi skladištenja u ukupnim troškovima distribucijskog lanca iznose 21%¹, što čini značajan udio. Smanjenje tih troškova znači i smanjenje ukupnih troškova. Uloga skladišta i skladišnih procesa u opskrbenom lancu biti će jedno od poglavlja ovog diplomskog rada.

Gradnja energetske učinkovitih skladišnih objekata, te primjena energetske učinkovite skladišne opreme smanjuje ovisnost takvog sustava za energijom. U doba kada cijena energenata konstantno raste, takav sustav može omogućiti znatne uštede. Na primjeru simulacije uvođenja energetske učinkovite opreme u skladišni objekt, biti će analizirane uštede koje ona ostvaruje, te vrijeme povrata investicije.

Istraživanja su potvrdila da čak i adaptacija objekata starih 40 godina može smanjiti potrebu za energijom do 30% od inicijalnih potreba.²

¹ Turkalj, Ž.: Poslovna logistika u suvremenom menadžmentu, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek, 2009.; ISBN 978-953-253-072-8

² Treloar, G., Fay, R., Ilozor, B., Love, P.: Building materials selection: greenhouse strategies for built facilities, MCB University Press, 2001., ISSN 0263-2772

2 Funkcija skladišnih sustava u opskrbnim lancima

Promatrajući plasman proizvoda na razini cjelokupnog gospodarstva, gotovi proizvodi jednih poslovnih sustava potrebni su drugim poslovnim sustavima i potrošačima u različitim vremenskim intervalima.

Da bi se savladala prostorna i vremenska neusklađenost proizvodnje, razmjene i potrošnje, formiraju se zalihe. Zalihe se moraju zaštititi, čuvati i kada je to potrebno dopremiti i/ili otpremiti. Ti razlozi uvjetuju osiguravanje prostora u kojima se isti i odvijaju. Taj prostor predstavlja skladište. Za jedan poslovni sustav s dobro definiranom logističkom mrežom tokova materijala, dijelova i poluproizvoda.

Skladišta su izgrađeni objekti ili pripremljeni prostori za smještaj i čuvanje roba od trenutka njihovog preuzimanja do vremena njihove upotrebe i otpreme. Otvorene površine namijenjene i osposobljene za smještaj roba nazivaju se slagališta.³ Smještajem, čuvanjem i izdavanjem robe iz skladišta bavi se skladišna služba, a u skladištu radi skladišno osoblje.

2.1 Definicija skladištenja i zadaci skladišta

S logističkog stajališta "skladište je čvor ili toka na logističkoj mreži na kojem se roba prije svega prihvaća ili prosljeđuje u nekom drugom smjeru unutar mreže". U užem smislu se pod skladištem podrazumijeva mjesto smještaja, čuvanja i izdavanja robe. U širem smislu to je ograđeni ili neograđeni prostor, zatvoreni ili poluzatvoreni (pokriveni) prostor, za uskladištenje robe i svega onog što je u izravnoj vezi sa skladištenjem, te kao takav predstavlja njegov sastavni dio.⁴

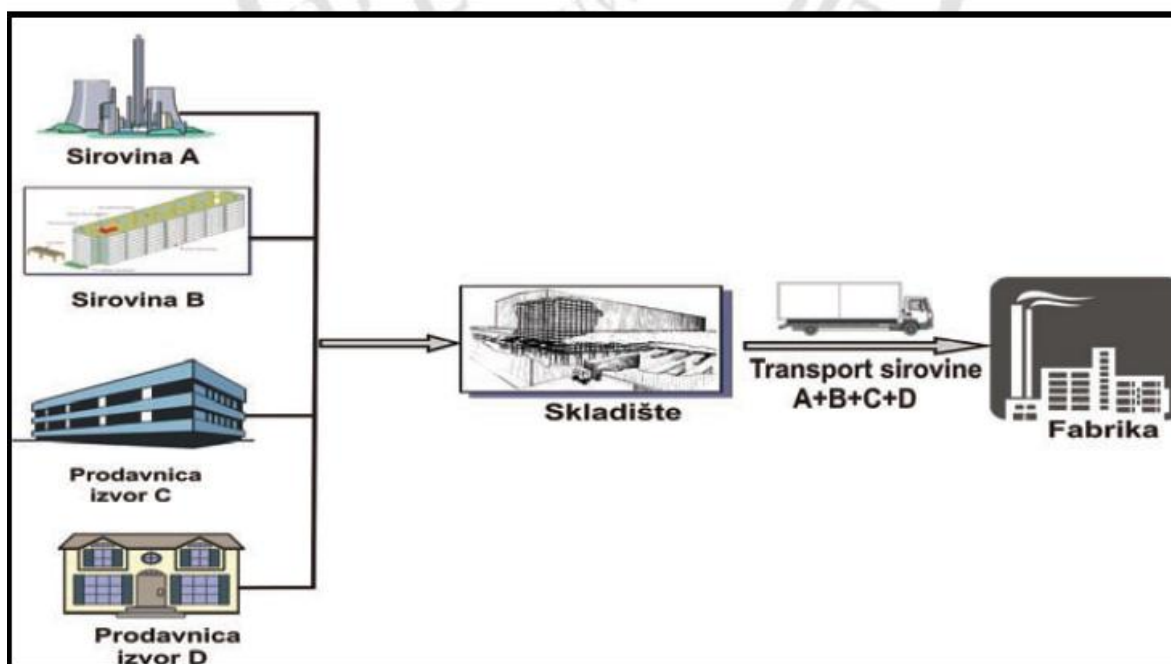
S toga gledišta, skladište predstavlja prostor u kojem se roba preuzima, čuva od raznih fizičkih i kemijskih utjecaja, izdaje i otprema.⁵

Skladišta se formiraju s ciljem ujednačavanja neravnomjernosti, koja se javlja na relaciji potreba krajnjeg korisnika i mogućnosti nabavke. Takve zalihe se planiraju na osnovu prognoza kao podrška svim karikama lanca opskrbe, od proizvođača, do distributera i krajnjih korisnika.

³ Autorizirana predavanja iz kolegija Unutrašnji transport i skladištenje, Fakultet prometnih znanosti Zagreb, Zagreb, 2014.

⁴ Autorizirana predavanja iz kolegija Unutrašnji transport i skladištenje, Fakultet prometnih znanosti Zagreb, Zagreb, 2014.

⁵ Autorizirana predavanja iz kolegija Unutrašnji transport i skladištenje, Fakultet prometnih znanosti Zagreb, Zagreb, 2014.



Slika 1. Sustav isporuka proizvoda i komponenti

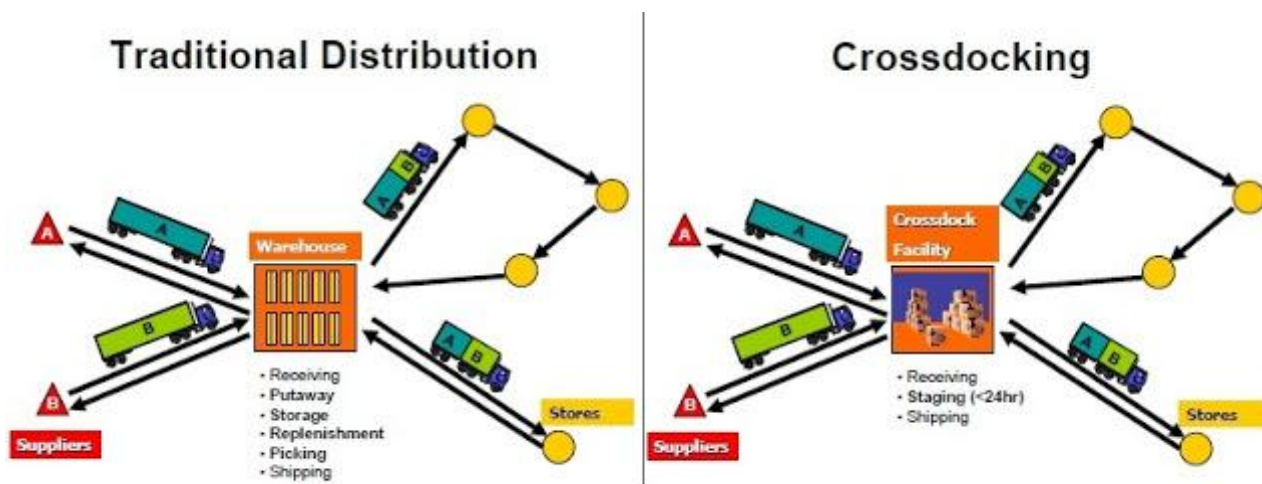
Izvor: Regodić. D.: Logistika, Univerzitet Singidum, Beograd

Jedna od funkcija skladišta je efikasna podrška pri automatiziranom procesu proizvodnje, te povećanje produktivnosti. Skladištenje je jedna od najvažnijih logističkih aktivnosti i kao takvo ima funkciju dodavanja vrijednosti proizvodu. Skladištenje ima nekoliko važnih uloga u logističkom sustavu, uključujući, konsolidaciju transporta, cross docking pružanje usluga i zaštita od nepredviđenih okolnosti.

Druga funkcija skladišta je takozvani cross docking (eng. mixed warehouse, make-bulk/break-bulk) prema narudžbi kupca.⁶ Tvrtke u pravilu proizvode više različitih proizvoda, ako uzmemo u obzir boju, veličinu, oblik i druge varijacije.

⁶ Ballou, R. H.: Business Logistics Importance and Some Research Opportunities, Case Western Reserve University Cleveland, Ohio, 1997.

Zbog funkcije miješanja proizvoda (Slika 2.), koje se odvija u skladištu, postiže se efikasnije ispunjenje zahtijeva narudžbi kod novih cross dock skladišta. Takva skladišta najčešće su locirana u blizini gusto naseljenih zona, što omogućuje tvrtkama prikupljanje i isporuku proizvoda manjim, dostavnim vozilima i planiranje skladišnih aktivnosti u svrhu sprječavanja stvaranja prekomjernih zaliha.



Slika 2. Tradicionalna distribucija i cross docking

Izvor: <https://www.linkedin.com/pulse/20140804133138-132416775--cross-docking-concept-and-its-applicability-in-enterprise-data-management>

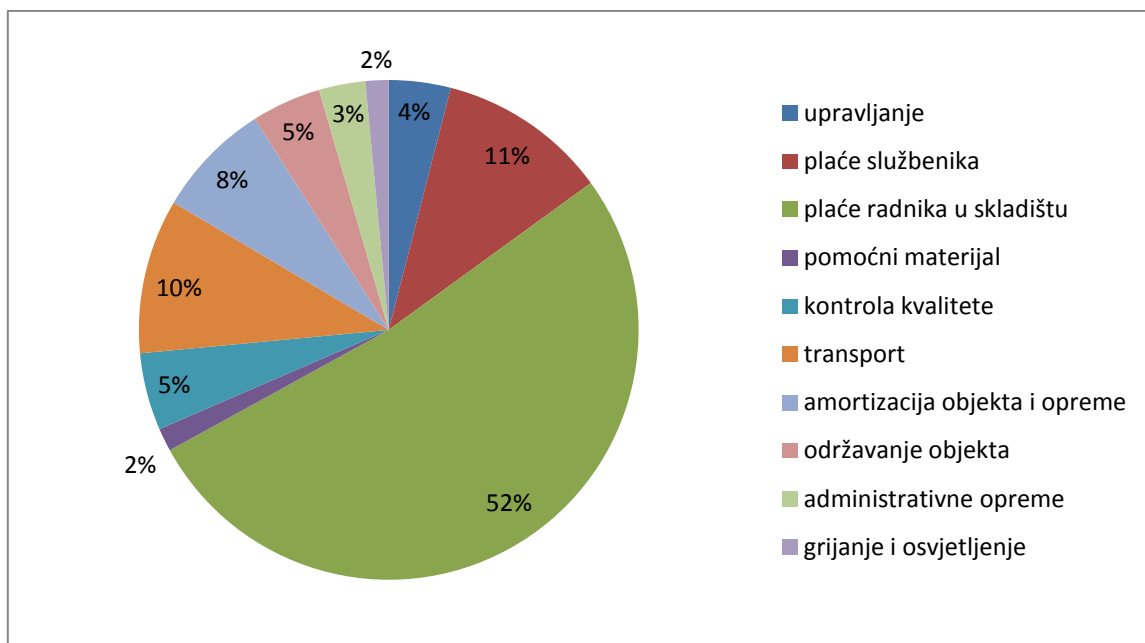
Pored miješanja proizvoda (cross docking) prema zahtjevima kupaca, tvrtke koje koriste sirovine ili poluproizvode (npr. proizvođači automobila) često premještaju određene količine miješanih artikala iz skladišta sirovina u tvornicu. Ovakva strategija skladištenja proizvoda, uz to što smanjuje troškove transporta, osigurava orijentaciju prostora proizvodnih pogona ka osnovnoj funkciji, a to je proizvodnja, eliminirajući potrebe za većom količinom skladišnih prostora. Ovo je vrlo bitna strategija posebno uzimajući u obzir sve više cijene goriva koja direktno utječe na povećavanje transportnih troškova.⁷

Iz svih prije navedenih činjenica proizlazi da je svrha postojanja skladišta osiguranje dopremanja materijala proizvodnom procesu uz minimalne troškove. Pored troškova uslijed nedovoljnih ili prekomjernih zaliha, pojavljuju se i troškovi skladištenja.

⁷ Kumar, R., M., Veeramachaneni, R., Kare, S.: Warehousing In Theory And Practice, University College of Borås School of Engineering, 2007.

U troškove skladištenja se ubrajaju: troškovi za zaštitu materijala, rukovanje, administraciju, prostor, opremu, grijanje, osvjetljenje, oštećenje itd. Na primjeru strojogradnje, udio pojedinih troškova u ukupnom troškovima skladištenja su sljedeći:⁸

- upravljanje 4%
- plaće službenika 11%,
- plaće radnika u skladištu 52%,
- pomoćni materijal 1,5%,
- kontrola kvalitete 5%
- transport 10%,
- amortizacija objekta i opreme 7,5%,
- održavanje objekta 4,5%,
- administrativne opreme 3%
- grijanje i osvjetljenje 1,5%.



Slika 3. Udio pojedinih troškova u ukupnim troškovima skladištenja

Izvor: Izradio autor prema podacima Regodić. D.: Logistika, Univerzitet Singidum, Beograd

Upravo se grijanje i osvjetljenje najčešće ističu kao segmenti koji najviše utječu na energetska učinkovitost skladišta.

⁸ Regodić. D.: Logistika, Univerzitet Singidum, Beograd, 2010., ISBN:978-86-7912-279-7

Osnovni zadatak je da se tijekom mirovanja robe u skladištima osigura da takva roba zadrži sva upotrebna svojstva u dozvoljenim granicama.⁹ Pogrešno se smatra da je uloga skladišta statična, iako mu je osnovna funkcija skladištenje. Naprotiv, dinamičnost je osnovna odlika skladišta. Zadatak skladišta je da prihvati robu na kraju određenog proizvodnog ili transportnog procesa na mjestima pogodnim za smještaj, da bi se pod što povoljnijim uvjetima ta roba uključila u neki drugi proizvodni proces, ili u krajnjem slučaju, prodala krajnjim korisnicima.

Određene vrste skladišta mogu biti namijenjene za različite dorade uskladištenih proizvoda, kao što su sušenje, sortiranje, pakiranje i paletizacija ili slaganje u kontejnere.¹⁰ Roba, bez određene svrhe, se u pravilu ne smije skladištiti, jer se tako samo nepotrebno generiraju dodatni troškovi. Sve funkcije, prethodno navedene, opisuju skladišta kao dinamički sustav.

2.2 Skladišta u opskrbnom lancu

Promatrajući sustav opskrbnog lanca od početne točke, odnosno nabavke sirovina i materijala, kroz sve njegove faze, pa sve do krajnjeg potrošača, opskrbeni lanac definirati kao skup svih djelatnosti kroz koje se u određenom sustavu vrši oblikovanje, projektiranje, upravljanje i kontrola postupaka vezanih za područja rukovanja teretom, skladištenja i transporta robe.¹¹

Jednu od najboljih definicija opskrbnog lanca dao je umirovljeni profesor Bernard J. (Bud) Lalonde sa Ohio State University. LaLonde definira upravljanje lanca opskrbe kao: "Pružanje usluge korisniku i povećanje ekonomske vrijednosti robe kroz sinkronizirano upravljanje fizičkim tokovima robe i pridruženim informacijama od izvora do krajnje potrošnje".¹²

Opskrbeni lanci objedinjuju sve subjekte u kojim se realiziraju logistički procesi. Međutim, postoje i čisto logističke tvrtke, čija je osnovna djelatnost pružanje logističke usluge, kao što su transportna, prekrcajna, skladišna, špediteri, distributivni centri itd.

⁹ Autorizirana predavanja iz kolegija Unutrašnji transport i skladištenje, Fakultet prometnih znanosti Zagreb, Zagreb, 2014.

¹⁰ Regodić, D.: Logistika, Univerzitet Singidum, Beograd, 2010., ISBN:978-86-7912-279-7

¹¹ Kumar, R., M., Veeramachaneni, R., Kare, S.: Warehousing In Theory And Practice, University College of Borås School of Engineering, 2007.

¹² Zigiari, S.: Supply Chain Management, Innoregio Project, 2010.

Prema istraživanju koje je provelo Europskog udruženja logistike (AT Kearney) 2004. godine na skladištenje otpada 24% ukupnih logističkih troškova, a prema istraživanju koje je proveo Uspostaviti Inc./Herbert W. Davis & Co., 2005. u SAD trošak skladištenja iznosi 22% ukupnih logističkih troškova. Skladištenje je uvijek bilo vrlo značajno u smislu troškova, službe za korisnike, te igra važnu ulogu u uspjehu ili neuspjehu mnogih opskrbnim lancima.¹³

Kao i svaki sustav, i skladišni sustav može da se podijeliti na odgovarajuće podsustave, takozvana parcijalna područja.

Skladišni sustavi uključuju:¹⁴

- pakiranje,
- unutarnji transport,
- skladištenje (sirovina, poluproizvoda, gotovih proizvoda),
- prekrcaj,
- vanjski transport.

Svaki od tih pojedinih podsustava sastavljen je od varijabilnih komponenata, a efikasno utvrđivanje i razvijanje integracije pojedinih podsustava ovisi o njihovoj ovisnosti.

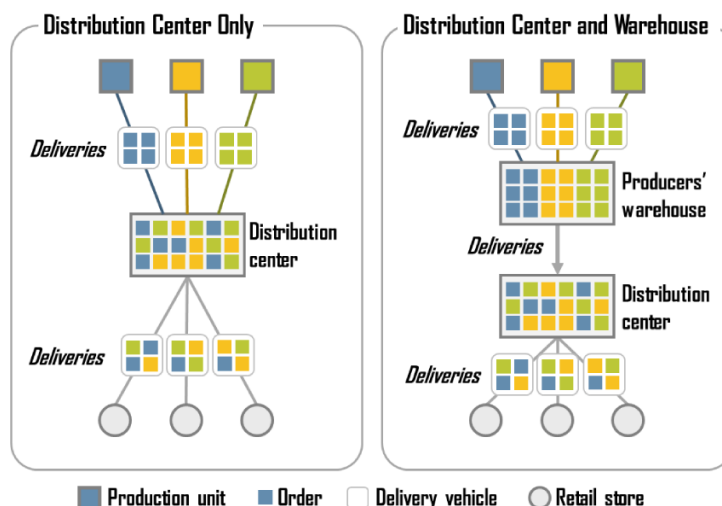
Da bi se riješili problemi na pojedinim parcijalnim područjima potrebno je poznavati cjelokupnu koncepciju logistike, te sve karike opskrbnog lanca. Također je potrebno konstantno unaprjeđivati i razvijati način upravljanja opskrbnim lancima.

¹³ Kumar, R., M., Veeramachaneni, R., Kare, S.: Warehousing In Theory And Practice, University College of Borås School of Engineering, 2007.

¹⁴ Kumar, R., M., Veeramachaneni, R., Kare, S.: Warehousing In Theory And Practice, University College of Borås School of Engineering, 2007.

Razlika između skladišta i distributivnog centra

Skladište može vršiti samo funkciju skladištenja (klasično skladište) ili skladišnu i distributivnu funkciju (distributivni centar), Slika 4.



Slika 4. Uloga distribucijskih centara i skladišta u opskrbnim lancima

Izvor:

https://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch5en/conc5en/distribution_center_warehouse.html

Klasično skladište služi čuvanju zaliha radi proizvodnje (sirovina, poluproizvod) ili prodaje na ciljnom tržištu (gotov proizvod). U klasično skladište se može ubrajati i tranzicijsko skladište, čija je funkcija čuvanje proizvoda u tranzitu.¹⁵

S druge strane, distribucijski centri su namijenjeni što većem protoku proizvoda, kako bi se prepakirali, konsolidirali i isporučili različitim korisnicima. U distribucijskom centru se velike pošiljke dijele na manje i šalju dalje u opskrbni lanac. Globalno orijentirani opskrbni lanci često zahtijevaju korištenje skladišta, najčešće u blizini proizvodnih pogona. Zatim, takva skladišta se koriste za ispunjavanje naloga distributivnih centara, koji mogu biti poprilično udaljeni. To doprinosi smanjenju vremena isporuke i troškovima transporta (većih vozila i veći faktor opterećenja).¹⁶

¹⁵ https://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch5en/conc5en/distribution_center_warehouse.html

¹⁶ https://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch5en/conc5en/distribution_center_warehouse.html

U praksi su distribucijski centri površinom mnogo veći od skladišta, te su najčešće namijenjeni opsluživanju veće regije. Distribucijski centar preuzima velike količine proizvoda, a potom isti taj proizvod prepakira i dalje isporučuje u manjim količinama. Distribucijski centri na sebe preuzimaju većinu odgovornosti u distribuciji gotovih proizvoda prema okruženju (regiji) i u pravilu su vrlo dobro povezani prometnom infrastrukturom.

Skladište povezuje ponudu i potražnju. Omogućuje proizvodnju velikih serija proizvoda, koja je u pravilu ekonomski isplativija, te s druge strane povećava uslugu korisniku. U slučaju da je predviđanje potražnje za proizvodom dobro, a proizvodnja trenutna, potreba za skladištem i uskladištenim zalihama znatno opada.

Razlozi za postojanje skladišta su:¹⁷

a) Skladištenje sirovina:

- dugi rokovi nabave materijala;
- kašnjenja u isporukama;
- pojava škarta;
- promjene u planovima proizvodnje;
- sezonska proizvodnja sirovina;
- popusti na količine;
- očekivana kretanja cijena (spekulativne zalihe);
- niži troškovi administracije, nabave i transporta;

b) Skladištenje poluproizvoda:

- odstupanja od proizvodnog plana;
- zastoji u proizvodnji, kvarovi strojeva;
- razlike u trajanju tehnoloških operacija i ciklusa;
- proizvodnje pojedinih dijelova;
- razlike u veličini serija;
- razlike u kapacitetu pojedinih strojeva;
- veće serije zbog smanjenja troškova proizvodnje;

¹⁷ https://www.fsb.unizg.hr/atlantis/upload/newsboard/05_06_2013__18997_Skladistenje_TL-5_1.pdf

c) Skladištenje gotovih proizvoda:

- otežana prodaja gotovih proizvoda;
- kratki rokovi isporuke (uvjet tržišta);
- potreba osiguranja doknadnih dijelova;
- varijabilnost potražnje;
- sezonska potrošnja.

U praksi se razlikuju skladišta materijala (sirovina), skladište poluproizvoda, te skladišta gotovih proizvoda.

Skladište ima višestruku ulogu u opskrbnom lancu:¹⁸

- služi kao mjesto objedinjavanja transporta;
- omogućuje nagomilavanje zaliha;
- mjesta miješanja proizvoda;
- skladišta mogu olakšati proizvodnju (prime sve proizvode i vrše sklapanje prema zahtjevima kupaca).

Sirovinama se nazivaju proizvodi koji se neposredno uzimaju iz prirode, da bi se iz njih na ekonomičan način dobili poluproizvodi i gotovi proizvodi.

Poluproizvodima se nazivaju proizvodi koji su obrađeni do određenog stupnja, tako da se iz njih lakše, brže i ekonomičnije mogu dobiti finalni proizvodi. Međutim, za određene proizvođače oni predstavljaju gotove proizvode, te ih kao takve prodaju svojim kupcima, koji ih koriste kao sastavni dio, odnosno komponente, za svoje proizvode.

Gotovim proizvodima se nazivaju svi oni proizvodi koji su tokom tehnološkog procesa konačno obrađeni, tako da su dobili sve kvalitete konačne upotrebe. Efikasan skladišni sustav znači bržu isporuku, manje zaliha i bolju uslugu kupca. Rezultat je višu razinu zadovoljstva kupaca i veća prodaja.

¹⁸ Autorizirana predavanja iz kolegija Unutrašnji transport i skladištenje, Fakultet prometnih znanosti Zagreb, Zagreb, 2014.

3 Konstrukcijska i tehnološka rješenja skladišnih objekata i opreme

Aktivnosti kao što su planiranje i projektiranje samih skladišnih objekata i njihovih konstrukcijskih rješenja, uzimaju u obzir njihovu buduću namjenu, obim posla, te njihovu ulogu u cjelokupnom opskrbnom lancu. Procesi uklapanja sa tehnološkog i konstrukcijskog aspekta podsustava skladišta unutar jedinstvene cjeline, mogu se izvršiti u sklopu faza planiranja i projektiranja, međutim to su takvi procesi koji se mogu odvijati i godinama nakon stavljanja sustava u radni proces te isto tako i za vrijeme njegovog razvitka.

Međutim, takve adaptacije skladišnih objekata nakon puštanja u radni proces, u pravilu iziskuju značajna financijska ulaganja. Često je vremenski interval povrata uložених sredstava vrlo dugačko. Stoga je kvalitetno planiranje i točnost predviđanja od ključne važnosti.

3.1 Skladišni objekti

Ekonomičnost skladišta se može promatrati kroz sljedeće kriterije:¹⁹

- isplativost makrolokacije i mikrolokacije skladišta,
- pravilnost rasporeda uskladištene robe,
- funkcionalnost unutarnje organizacije skladišta,
- suvremenost metoda uskladištenja, transporta i primjene tehničkih pomagala,
- isplativost objekata za skladištenje.

¹⁹ Regodić. D.: Logistika, Univerzitet Singidum, Beograd, 2010., ISBN:978-86-7912-279-7

Danas u praksi postoji veliki broj tehničko-konstruktivskih i organizacijsko - tehnoloških rješenja skladišnih objekata. U ovisnosti od vrste robe i njenih svojstava skladišni objekti se mogu svrstati u:²⁰

- univerzalna ili skladišta opće namjene,
- skladišta za konvencionalne generalne terete i paletiziranu robu,
- skladišta za suhe rasute terete (ugljen, željeznu rudu),
- skladišta za fosfate,
- skladišta za tekuće terete,
- skladišta za kemikalije,
- skladišta za plinove,
- skladišta za opasne terete,
- skladišta za žive životinje,
- kondicionirana skladišta i hladnjače,
- silosi za žitarice,
- skladišta za kontejnere,
- skladišta za dugačku robu i dr.

Prizemna skladišta

Prizemna skladišta se još nazivaju i hangarska. Hangar je zatvoreno skladište prizemne izvedbe. Njegova konstrukcija služi samo za zaštitu robe. Roba se slaže izravno na tlo, stoga konstrukcija ne nosi nikakvo opterećenje uskladištene robe. Nosiva konstrukcija se izvodi od armiranog betona, čelika ili aluminija, drva ili lameliranog drva i sintetičkih materijala.²¹

Konstrukcija prizemnih skladišta najčešće je izrađena od čeličnih profila, a vanjski zidovi od lima. Postoje i varijante skladišta sa betonskim ili ciglanim zidovima. Prednosti čelične konstrukcije je u tome da se cijela konstrukcija izradi u tvornici, te se potom samo složi na licu mjesta. Prizemna skladišta velikih raspona (većih od 30 m) zahtijevaju posebne konstrukcije, specifičnu proizvodnju elemenata i ugradnju. Čelična prizemna skladišta su, uz armiranobetonska, najrasprostranjenija vrsta skladišta.²²

²⁰ Autorizirana predavanja iz kolegija Skladištenje i unutrašnji transport, Fakultet prometnih znanosti Zagreb, Zagreb, 2014.

²¹ Autorizirana predavanja iz kolegija Skladištenje i unutrašnji transport, Fakultet prometnih znanosti Zagreb, Zagreb, 2014.

²² Autorizirana predavanja iz kolegija Skladištenje i unutrašnji transport, Fakultet prometnih znanosti Zagreb, Zagreb, 2014.

Katna (etažna) skladišta

Katna ili etažna skladišta su građevine kod kojih je skladišni prostor izgrađen jedan iznad drugoga na nekoliko katova. Time se dobiva mogućnost da se na istom prostoru zemljišta postigne višestruka skladišna površina. Konstrukcija takvih skladišta mora biti vrlo čvrsta da bi mogla nositi i gornje katove zgrade i sav teret koji je tamo smješten, kada je skladište napunjeno do granice svoga smještajnog kapaciteta.²³

Etažna skladišta imaju veliku prednost jer omogućuju postavljanje velikih kapaciteta smještaja robe i tamo gdje ograničene mogućnosti prostora to ne bi dozvolile, zahvaljujući korištenju visine.

Unutrašnjost skladišta podijeljena je uzdužno i poprečno stupovima na više polja. Gustoća stupova i širina polja ovise o opterećenju za koje se gradi skladište. Pri razmještaju stupova treba obratiti pozornost da se dobije što veći prostor za skladištenje i rukovanje teretom.

Skladišta posebne namjene

U skupinu specijalnih skladišta svrstavaju se skladišta posebne namjene, kao što su npr. silosi za žitarice, skladišta za sipke terete u rasutom stanju, skladišta za tekuće terete, hladnjače i ostala skladišta specijalne namjene, a uglavnom su to lučka skladišta.

Osnovna obilježja specijalnih skladišta i njihova opremljenost ovisi o vrsti i svojstvima robe, koja determinira potrebne uvjete skladištenja. Rukovanje robom u tim skladištima je potpuno ili većim dijelom mehanizirano, s malim udjelom ljudskog rada.²⁴

Skladišni objekti za rasutu robu

Otvoreni skladišni objekti za rasutu robu su namijenjeni za čuvanje velikog broja različitih vrsta rasute robe, kao što su ugalj, šljunak, pijesak, različite rude, šećerna repa, asfalt, kamen, itd. Obično se ovi skladišni objekti nazivaju deponijima rasute robe. Materijal koji se skladišti može formirati različite prostorne oblike.

U osnovnim oblicima skladišnih objekata za rasutu robu primjenjuju se različita sredstva prekrcajne mehanizacije (elevatora, mosne dizalice sa grabilicom, transportera strugača i sl.).

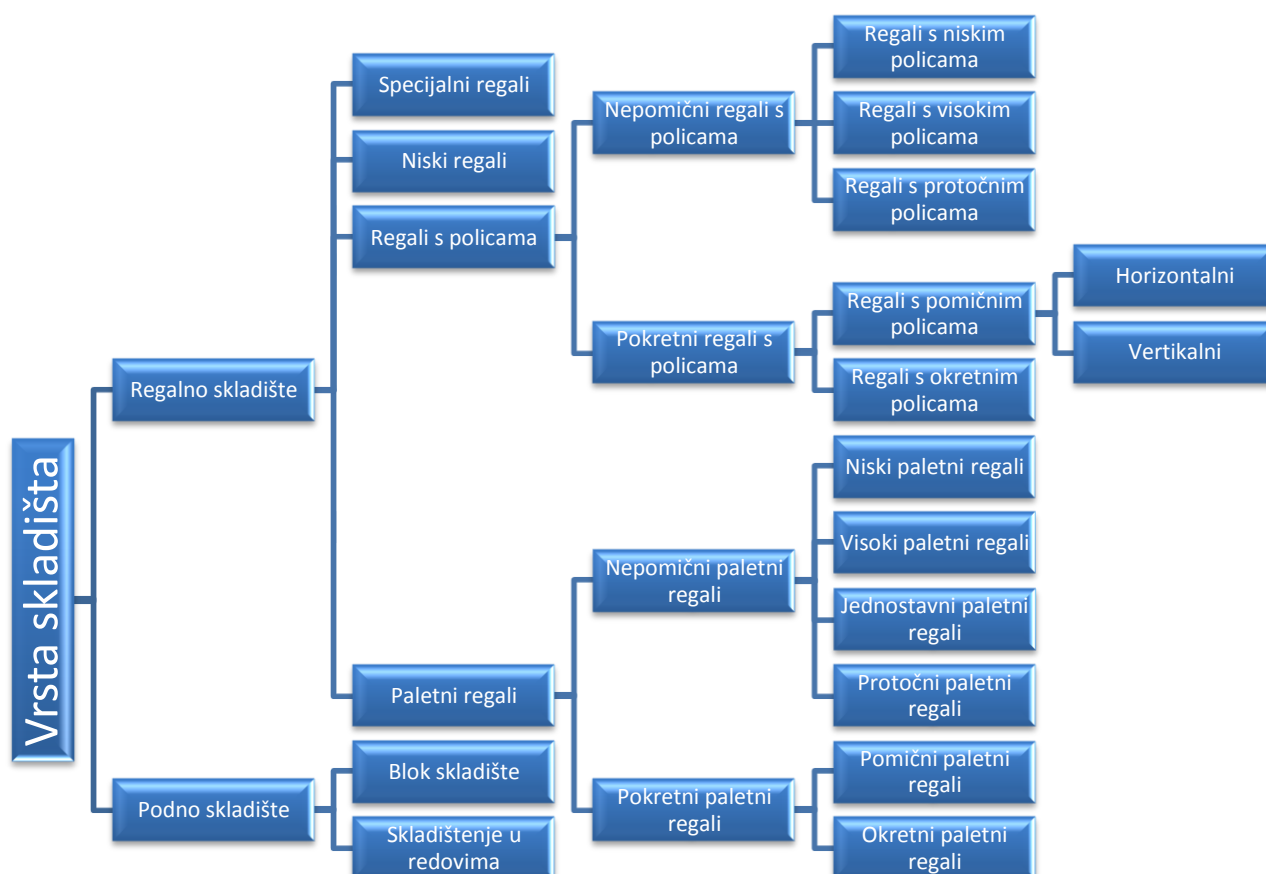
²³ Autorizirana predavanja iz kolegija Unutrašnji transport i skladištenje, Fakultet prometnih znanosti Zagreb, Zagreb, 2014.

²⁴ Autorizirana predavanja iz kolegija Unutrašnji transport i skladištenje, Fakultet prometnih znanosti Zagreb, Zagreb, 2014.

3.2 Skladišna oprema

Vrlo važna karika u logističkom sustavu je skladišna oprema. Skladišnu opremu čine sva sredstva pomoću kojih se obavljaju primarni i sekundarni procesi u skladištu.

Osnovni pojam skladišne opreme podrazumijeva naprave i uređaje koji omogućuju učinkovitu pohranu robe u skladište. Osnovni cilj pri projektiranju i uporabi skladišne opreme je postizanje što više razine iskoristivosti prostora u skladištu, ali i razina dostupnosti pojedinih artikala.²⁵



Slika 5. Vrste skladišta s obzirom na skladišnu opremu

Izvor: Izradio autor

²⁵ Autorizirana predavanja iz kolegija Unutrašnji transport i skladištenje, Fakultet prometnih znanosti Zagreb, Zagreb, 2014.

3.2.1 Regali

Regali omogućuju bolje iskorištenje ne samo skladišne površine nego i visine. Regali se upotrebljavaju u slučajevima kada roba svojih fizičkih osobina ne dozvoljava slaganje u visinu, jedne jedinice na drugu, bez rizika od oštećenja.²⁶

Visina regala smanjuje preglednost složene robe jer je razmak između regala uži nego kada se koriste tipski viličari kada skladište nema regala. Razlike između pojedinih regala mogu biti konstrukcijske i funkcionalne prirode, pri čemu je teško odvojiti jedne od drugih. Regali mogu biti od drveta i od metala.

Za lake proizvode, na primjer, prehrambene ili farmaceutske često služe drveni, a za teške i grube proizvode metalni regali.

Konstrukcija regala mora biti takva da omogućuje laganu montažu, te promjenu u dimenzijama, koje uvjetuju različite dimenzije roba koje se uskladištuju. S obzirom na različite dimenzije proizvoda, ponekad je potrebno izmijeniti visinu i eventualno širinu regalske ćelije, odnosno regala. Tim karakteristikama najviše odgovara metal, pri čemu je važan oblik i vertikalnih stupaca ili podupirača i horizontalnih gredica.²⁷

Konstrukcija metalnih regala je izrađena od profiliranih čeličnih limova, koji su izuzetno lagani i imaju veliku toleranciju na opterećenja.

²⁶ Regodić. D.: Logistika, Univerzitet Singidum, Beograd, 2010., ISBN:978-86-7912-279-7

²⁷ Regodić. D.: Logistika, Univerzitet Singidum, Beograd, 2010., ISBN:978-86-7912-279-7

Paletni regali

Kod paletnih regala materijal ili jedinica skladištenja se odlaže uz primjenu posebne opreme (za oblikovanje jediničnih tereta) i obavezno pomoću transportnog sredstva (najčešće viličara). U odlaganju paleta u paletne regale razlikujemo dvije varijante odlaganja:

- poprečno odlaganje, kod kojega se kraća stranica palete odlaže po dubini regala, npr. za paletu izmjera 1.200x800 mm dubina regala iznosi do 800 mm;
- dužno odlaganje, kod kojeg se duža stranica palete ulaže po dubini regala, npr. za paletu 1.200x800 mm dubina regala iznosi do 1.200 mm.²⁸



Slika 6. Paletni regal

Izvor: <http://www.dexion.ba/Proizvodi/RUKOVANJE-PALETOM/Protoni-paletni-regali/>

Police

U regale s policama materijal se odlaže izravno na policu, sa ili bez sredstava za oblikovanje jediničnih tereta (palete, sanduci). Polica je element regala kojega čine ulošci izrađeni od drveta ili metala (najčešće čelični lim). Ulošci se postavljaju na polične nosače regala tako da oblikuju punu uzdužnu, najčešće vodoravnu površinu.



Slika 7. Police

Izvor: <http://www.logomatika.hr/proizvodi-i-usluge/regali-i-podesti/policni-regali/>

²⁸ http://repozitorij.fsb.hr/1070/1/12_07_2010.pdf

Polična i paletna skladišta najčešće su zatvoreni objekti, s regalima postavljenim u redove. Kod takvog rasporeda regala moguć je izravni pristup svakoj jedinici skladištenja. Takav pristup osiguran je time što se na jednu полицу po njenoj dubini uvijek odlaže jedna paleta, a po širini police može se odložiti više paleta. visina skladišta iznosi do oko 8 m (najviše 12m).²⁹ U objektima višim od 4 m skladištenje u regalima se može organizirati u više razina (2 do 3).³⁰ To su prizemna skladišta. Za rukovanje materijalom na prizemna koriste se uglavnom ručna vozila, a veze između više razina ostvaruju se, osim stubama, dizalom ili viličarima.

Konzolni regali

Konzolni regali primjenjuju se u industrijskim tvrtkama za odlaganje, u otvorenim i zatvorenim prostorima, komadnog materijala s jednom ili dvije karakteristične izmjere, kao npr. cijevi, šipke, profili, paketi limova i dr.

Regali su visine do oko 8 m, duljine konzolnih nosača do 3 m, nosivosti regala do oko 200 kN ukupno (do oko 25 kN po konzoli).³¹ Standardne izvedbe su fleksibilne, odnosno stup regala ima raster (do oko 100 mm)³² koji omogućava promjenu visine pojedinih razina. Konzolni regal može biti sastavljen od jedne ili više jedinica regala, ovisno o duljini materijala. Ovi regali postavljaju se najčešće u redove, a mogu biti jednostruki ili dvostruki. Jednostruki konzolni regali obično se postavljaju uza zid objekta.



Slika 8. Konzolni regal

Izvor: <http://ervojic.hr/konzolni-regali/>

²⁹ http://repozitorij.fsb.hr/1070/1/12_07_2010.pdf

³⁰ http://repozitorij.fsb.hr/1070/1/12_07_2010.pdf

³¹ http://repozitorij.fsb.hr/1070/1/12_07_2010.pdf

³² http://repozitorij.fsb.hr/1070/1/12_07_2010.pdf

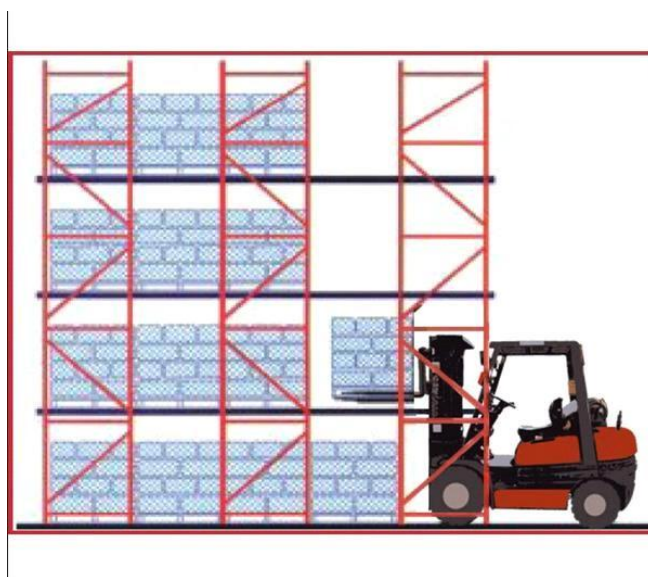
Prolazni regali

Kada se skladište veće količine istovrsnih materijala pomoću posebne opreme (palete, sanduci), koriste se prolazni i provozni regali (eng. drive-in). Ovi regali su jednostavne konstrukcije sastavljene od međusobno povezanih vertikalnih nosača stranica regala visine do 8 m na kojima se nalaze nosači paleta. Stranice regala su raspoređene tako da oblikuju mjesta za odlaganje i slobodne prolaze transportnom sredstvu koje rukuje jediničnim teretima (važan je raspored odlaganja).

Značajke skladišta sa prolaznim regalima:³³

- niska cijena izrade regala;
- velika iskoristivost podne površine i prostora skladišta;
- nema posebnih prolaza za transportne putove;
- pogodna su za materijal koji se duže vrijeme zadržava u skladištu.

Skladišta s prolaznim regalima pripadaju skupini skladišnih sustava s odlaganjem na više mjesta. Za takve sustave karakteristično je da nije moguć izravan pristup svakom skladišnom mjestu. S obzirom na druge dobre značajke takvih skladišta, taj se nedostatak može izbjeći tako da se u jedan red odlažu samo istovrsni materijali (isto vrijedi i za protočne regale, tunnelska skladišta i sl.)



Slika 9. Prolazni regali

Izvor: <http://www.ecvv.com/product/3782162.html>

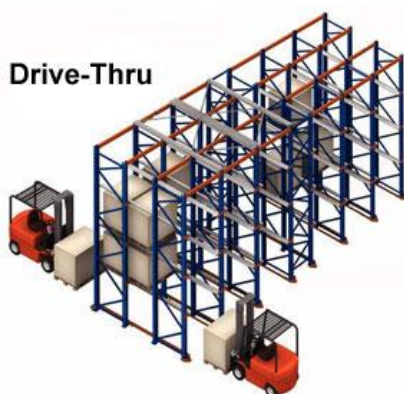
³³ http://repozitorij.fsb.hr/1070/1/12_07_2010.pdf

Protočni regali

Protočnim regalima ostvaruje se dinamično skladištenje komadnog materijala, kao jediničnog tereta na paletama, u sanducima, kutijama ili odgovarajućoj ambalaži. Ta su skladišta pogodna za odlaganje istovrsnog komadnog materijala većih količina, a često se koriste i kao skladišta za komisioniranje. Protočni regali ostvaruju rukovanje materijalom po načelu FIFO.³⁴

Kretanje materijala u protočnom (otuda i naziv dinamično skladištenje) regalu može biti izvedeno:³⁵

- Voznom stazom bez pogona, jedinice skladištenja kreću se silom teže (s tim u svezi je i naziv takvih izvedba: gravitacijski regali). Kut nagiba nosača (ovdje vozne staze) jediničnog tereta iznosi od 1 do 5%, ovisno o težini materijal, kvaliteti ambalaže/kutije/palete, te značajkama vozne staze (najčešće su izvedene kao valjčana staza).
- Voznom stazom s pogonom koja je u tom slučaju vodoravno postavljena. Kretanje materijala (brzinom oko 0.3 m/s) može biti izvedeno:
 - sredstvima neprekidnog transporta, npr. pogonjene valjčane, lančane ili trakaste staze ili pruge (ili pogonjeni samo pojedini segmenti staze)
 - sredstvima prekidnog transporta posebno izvedenim (automatiziranim) vozilima koja se kreću ispod jediničnog tereta.



Slika 10. Protočni regali

Izvor: <http://www.dacocorp.com/drive-drive-thru-pallet-rack-shelving-systems-p-305-l-en.html>

Najčešće izvedbe protočnih regala imaju duljinu do oko 20 m, visinu do oko 12 m. Transportna sredstva koja poslužuju protočno skladište su viličari (podni, ovjesni ili regalni), spiralne klizne staze i dr.

³⁴ http://repozitorij.fsb.hr/1070/1/12_07_2010.pdf

³⁵ http://repozitorij.fsb.hr/1070/1/12_07_2010.pdf

Pokretni regali

Horizontalni karuseli

Horizontalni karuseli ili okretni regali su uređaji za pohranu robe, a sastoje se od fiksnog broja skladišnih kolona ili odjeljaka koji su mehanički povezani s gornjim ili donjim pogonskim mehanizmom i tako čine zatvorenu petlju. Svaka kolona podijeljena je na određeni broj skladišnih lokacija ili ćelija. Roba se stavlja u posude ili tankove koji se skladište, izuzimaju ručno ili putem automatskog mehanizma. Određeno skladišno mjesto dovede se do mjesta komisioniranja pomoću rotacije karusela te se zbog toga ovaj princip naziva još i „roba - čovjeku“. Korištenjem ovakvih sistema štedi se do 75% podnog prostora, a produktivnost se može povećati i do 65%.³⁶



Slika 11. Horizontalni karusel

Izvor: http://repozitorij.fsb.hr/1947/1/17_09_2012.pdf

Vertikalni karuseli

Vertikalni karuseli također su okretni regali sa zatvorenom petljom čija rotacija je automatizirana. U ovom slučaju se uređaj sastoji od fiksnog broja polica koje rotiraju u vertikalnoj ravnini, a mogu sadržavati više mjesta za posude ili tankove.³⁷



Slika 12. Vertikalni karusel

Izvor: http://repozitorij.fsb.hr/1947/1/17_09_2012.pdf

³⁶ http://repozitorij.fsb.hr/1947/1/17_09_2012.pdf

³⁷ http://repozitorij.fsb.hr/1947/1/17_09_2012.pdf

Ukoliko je potrebno rukovati većim teretom, poput rola tepiha ili tkanine, police se ne dijele na manja mjesta, već se koristi cijela dužina karusela. Skladištenje artikala u ovakvim sustavima je vertikalno te su u skladištima s ograničenim podnim prostorom ovakvi karuseli vrlo popularni.

Vertikalni podizni moduli

Vertikalni podizni modul je skladišni sustav koji sadrži tri paralelne vertikalne kolone. Dvije kolone podijeljene su na određeni broj polica na koje se skladišti roba, dok središnja služi za podizanje ili spuštanje tereta. Za odlaganje, izuzimanje i transport obično se koriste kutije ili ladice koje automatski uređaj poput lifta donosi na zadanu lokaciju. Lokacije polica su jedinične dubine kako bi prijevozno sredstvo moglo dignuti ili spustiti u prostoru između skladišnih kolona. Sustav je vrlo prilagodljiv i postoji mogućnost korištenja cjelokupne visine zgrade tako da se ugradi kroz nekoliko katova. Ovakav inovativan način skladištenja robe dopušta da na svakom katu bude po jedna ulazna izlazna stanica i time se poveća efikasnost procesa komisioniranja.³⁸



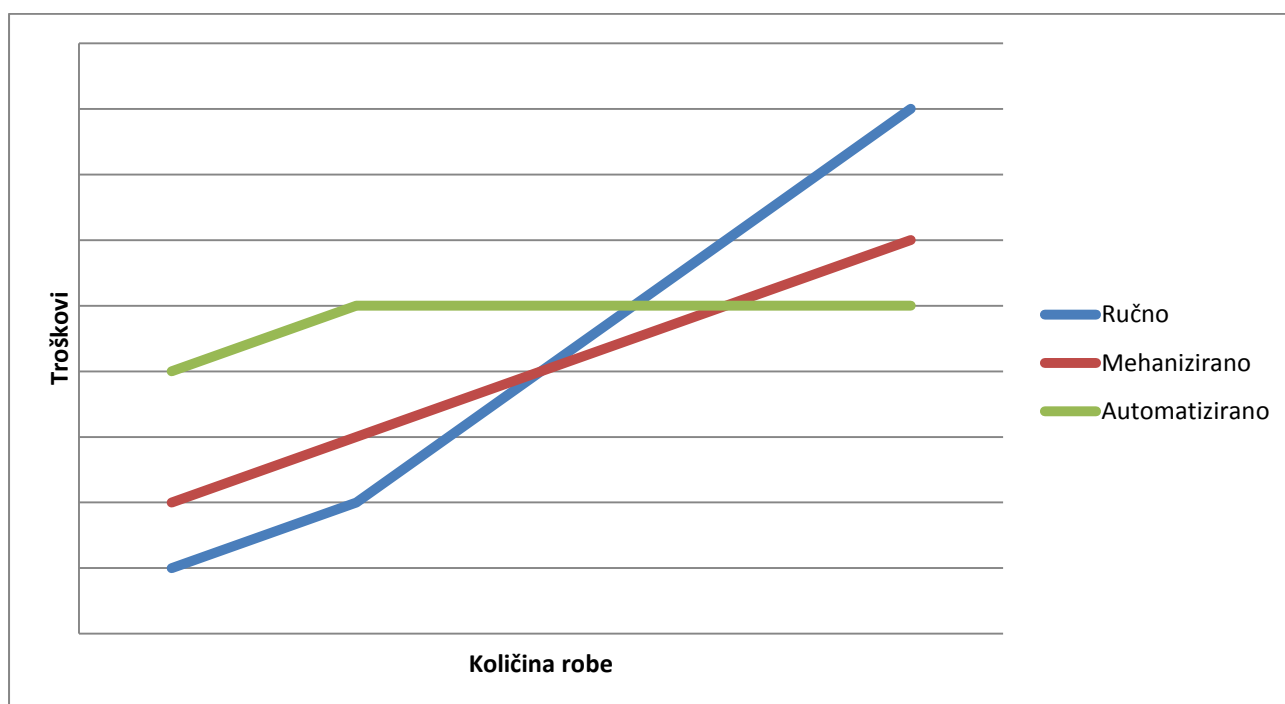
Slika 13. Vertikalni podizni moduli

Izvor: http://repozitorij.fsb.hr/1947/1/17_09_2012.pdf

³⁸ http://repozitorij.fsb.hr/1947/1/17_09_2012.pdf

3.2.2 Automatski skladišni sustavi

Suvremena logistička rješenja zasnivaju se na automatiziranim sustavima. Sve više investitora odlučuje se za ovakva skladišta, s jedne strane zbog zahtjeva tržišta za visoko efikasnom distribucijom raznih vrsta roba, rezervnih dijelova i sl., a s druge strane zbog smanjenja raspoloživih površina za gradnju te zbog smanjenja troškova eksploatacije uslijed smanjenog udjela ljudskog rada. Iz Dijagrama 1. vidljivo je da je kod malih količina automatizirano skladište neisplativo, ali zato s povećanjem količina robe troškovi ostaju isti, odnosno ne rastu proporcionalno s povećanjem količina.³⁹



Dijagram 1. Troškovi prema stupnju automatizacije

Izvor: Prilagodio autor prema

https://www.fsb.unizg.hr/atlantiss/upload/newsboard/07_06_2013__19011_Skladistenje_TL-5_8.pdf

Automatska skladišta (AS) sa opremaju sa sustavima koji reduciraju ljudski rad i reduciraju ljudski rad. Glavne karakteristike su velika početna ulaganja i promjenljiva razina automatizacije (udio mehanizama u operacijama i transakcijama u skladištima, dok u visoko automatiziranim sustavima teret se informacijski prati od ulaza do izlaza).⁴⁰

³⁹ Lerher, T., Potrč, I., Šraml, M., Sever, D.; A Modelling Approach And Support Tool For Designing Automated Warehouses, Advanced Engineering, 2007.

⁴⁰ Lerher, T., Potrč, I., Šraml, M., Sever, D.; A Modelling Approach And Support Tool For Designing Automated Warehouses, Advanced Engineering, 2007.

Prednosti:

- povećana iskoristivost skladišnog prostora;
- povećana kontrola zaliha i praćenje zaliha;
- povećanje kapaciteta skladišta;
- smanjenje troškova ljudskog rada;
- povećanje sigurnosti na radu;
- povećana zaštita materijala;
- točnost operacija.

Nedostaci:

- visoki investicijski troškovi;
- povećani zahtjevi održavanja;
- povećani zahtjev za tolerancije;
- nefleksibilnost.

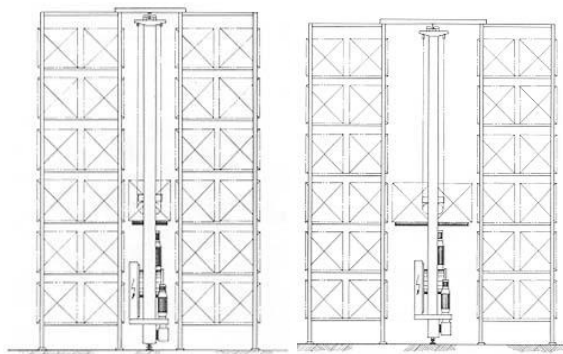
Tabela 1. Karakteristike prema stupnju mehanizacija

Karakteristike	Tip		
	Ručno	Mehanizirano	Automatizirano
Težina	Niski	Visoki	Visoki
Volumen	Niski	Visoki	Visoki
Brzina	Niski	Srednji	Visoki
Frekvencija	Niski	Srednji	Visoki
Kapacitet	Niski	Srednji	Visoki
Fleksibilnost	Visoki	Srednji	Niski
Investicijski troškovi	Niski	Srednji	Visoki
Operativni troškovi	Visoki	Srednji	Niski

Izvor: Izradio autor

UNIT-LOAD AS/RS

Unit-Load AS/RS je automatizirano visokoregalno skladište. To je vrsta sustava automatiziranog odlaganja i izuzimanja za teže/veće terete (250 do 500 kg i više)⁴¹ smještene na paletama ili u plastičnim, drvenim ili metalnim sanducima paletnih dimenzija. Nekim velikim teretima može se također rukovati i bez sredstava za oblikovanje jediničnog tereta, npr. kolutovi limova, papira, kablova. Visina regla je od 10 do 50 m, a dužina čak i do 300 m.⁴²

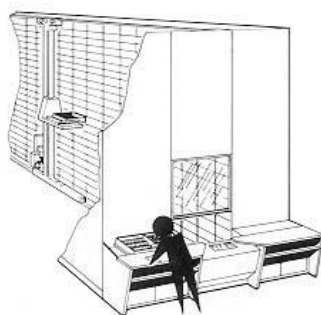


Slika 14. Single Wide Aisle/Double Deep Rack Double Wide Aisle/Double Deep Rack

Izvor: https://www.fsb.unizg.hr/atlantis/upload/newsboard/07_06_2013__19011_Skladistenje_TL-5_8.pdf

MINI-LOAD AS/RS /MICRO-LOAD AS/RS

Mini-load AS/RS je tip sustava automatiziranog odlaganja i izuzimanja za terete koji su obično u malim spremnicima (kutijama), s ukupnom težinom između 50 i 250 kg (rijetko do 500 kg).⁴³ Micro-load AS/RS: Tip sustava automatiziranog odlaganja i izuzimanja za male proizvode u vrlo malim spremnicima, (kutijama ili ladicama) s ukupnom težinom manjom od 50 kg.



Slika 15. Mini-Load AS/RS /Micro-Load AS/RS sustav

Izvor: https://www.fsb.unizg.hr/atlantis/upload/newsboard/07_06_2013__19011_Skladistenje_TL-5_8.pdf

⁴¹ https://www.fsb.unizg.hr/atlantis/upload/newsboard/07_06_2013__19011_Skladistenje_TL-5_8.pdf

⁴² https://www.fsb.unizg.hr/atlantis/upload/newsboard/07_06_2013__19011_Skladistenje_TL-5_8.pdf

⁴³ https://www.fsb.unizg.hr/atlantis/upload/newsboard/07_06_2013__19011_Skladistenje_TL-5_8.pdf

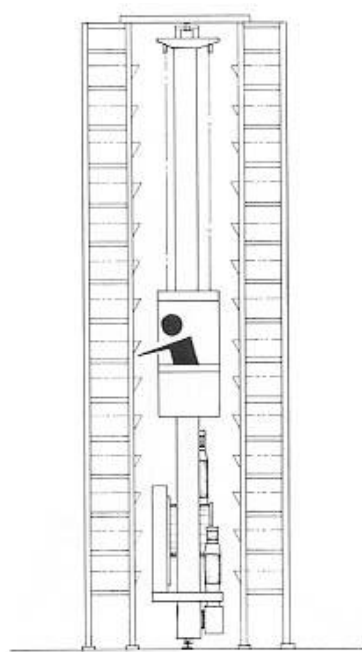
Visina oba sustava se kreće između 3 i 15 m, dok je duljina od 10 do 50 m, rijetko preko 60m. Horizontalna brzina dizalice je 2,5 m/s, a vertikalna 0,6 m/s.⁴⁴

Osim klasične (opisane) izvedbe moguće su varijante:

- tzv. izvedba “konjske potkove” – ulazni i izlazni buffer na kraju svakog prolaza u obliku potkove;
- izvedba s pokretnom trakom u zatvorenoj petlji – spremnici iz svih prolaza dolaze do udaljenog mjesta za komisioniranje;
- izvedba s dva ili više prolaza po komisioneru.

Person-on-board AS/RS

Sustavi komisioniranja po principu “čovjek robi” su poluautomatizirani sustav i odlaganja i izuzimanja, s čovjekom na dizalici za ručno uskladištenje i izuzimanje unutar prolaza između visokih poličnih i paletnih regala.



Slika 16. Person-on-board AS/RS

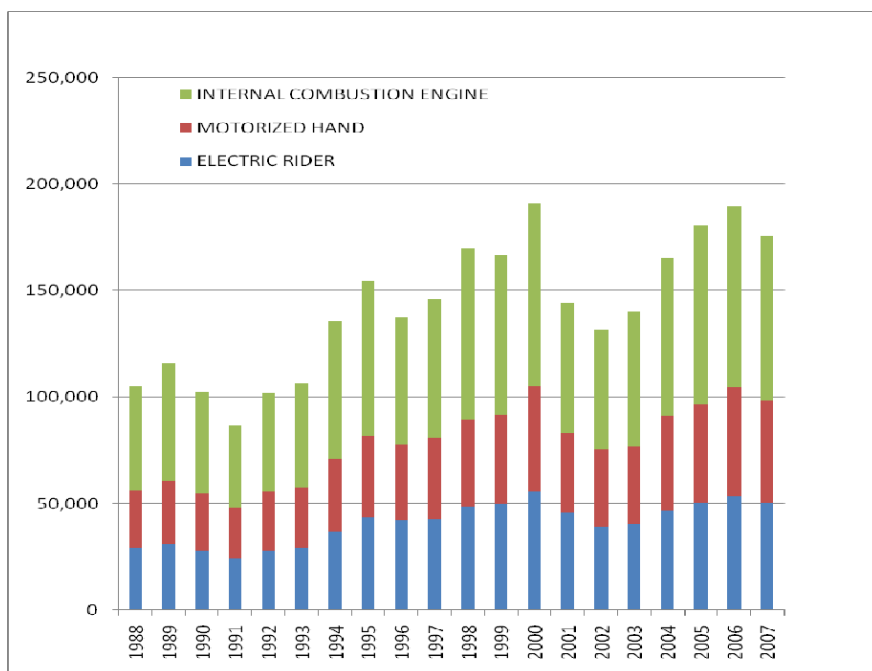
Izvor: https://www.fsb.unizg.hr/atlantis/upload/newsboard/07_06_2013__19011_Skladistenje_TL-5_8.pdf

⁴⁴ https://www.fsb.unizg.hr/atlantis/upload/newsboard/07_06_2013__19011_Skladistenje_TL-5_8.pdf

3.2.3 Viličari

Viličari se koriste u raznim komercijalnim i industrijskim operacijama za premještanje svih vrsta robe i materijala unutar skladišta. Ovisno o vrsti viličari i njegovoj primjeni, operacije koje obavlja mogu uključivati prijevoz u prizemlju, ili podizanje ili spuštanje. Operator može hodati ili voziti se iza ili unutar viličara. Opterećenja se kreću u rasponu od manje od 500 kg pa sve do 20 tona. Viličar se može koristiti od nekoliko sati dnevno, pa do 24 sata dnevno, 7 dana u tjednu.⁴⁵ Neki viličari se koriste u zatvorenom prostoru, a drugi se koriste za vanjsku uporabu.

Na slici su prikazane količine prodanih viličara u Americi, po vrsti, za period od 20 godina, zaključno sa 2008. godinom. Prema podacima prikazanim u Dijagramu 2, vidljivo je da je došlo do ukupnog rasta prodaje viličara. Ako su ti viličari u službi za prosječno 6 godina⁴⁶, ukupna količina viličara u SAD-u je oko 980.000.⁴⁷



Dijagram 2. Prodaja viličara u SAD-u u razdoblju od 1988. do 2007. godine

Izvor: Gaines, L.L., . Elgowainy, A., Wang, M.Q.; Full Fuel-Cycle Comparison of Forklift Propulsion Systems

⁴⁵ Gaines, L.L., . Elgowainy, A., Wang, M.Q.; Full Fuel-Cycle Comparison of Forklift Propulsion Systems; U.S. Department of Energy; Oregon, Listopad.2008.

⁴⁶ Gaines, L.L., . Elgowainy, A., Wang, M.Q.; Full Fuel-Cycle Comparison of Forklift Propulsion Systems; U.S. Department of Energy; Oregon, Listopad.2008.

⁴⁷ Gaines, L.L., . Elgowainy, A., Wang, M.Q.; Full Fuel-Cycle Comparison of Forklift Propulsion Systems; U.S. Department of Energy; Oregon, Listopad.2008.

Kategorizacija viličara:⁴⁸

- Klasa I.- Ova klasa se sastoji od tri kotača koje pokreće električni motor. Operater može sjediti ili stajati. Ova klasa viličara može biti opremljena s punim ili pneumatskim gumama;
- Klasa II.- Ovu klasu viličara pokreću elektromotori. Pogodna je za uska prolaze, tipične za u zalihama miješanja. Postoji mogućnost instaliranja dodatnog protuutega na stražnju stranu viličara;
- Klasa III.- Ovu klasu viličara također pokreću elektromotori. Obično ima operatera koji hoda iza ili, alternativno, radi dok je u stojećem položaju.
- Klasa IV.- Četvrta klasa viličara ima kabinu s kontrolama i pokreće je motor s unutrašnjim sagorijevanjem. Koristi uteg kao protutežu. Gume su najčešće pune.
- Klasa V.- Veliki viličari s protutežom klasa ugrađenim sjedalom za vozača. Pokreće ih motor s unutrašnjim sagorijevanjem. Cijelo vozilo montirano je na pneumatskim gumama.

Ručni viličari su manipulacijski uređaji za mehaničko i hidrauličko podizanje tereta. Hidrauličnim uređajem, koji je ugrađen u sam viličar, paleta se može podići za 10-12 cm. Pomoću fizičke snage radnika vrši se prijenos palete sa jednog na drugo mjesto, odnosno ukrcaj, iskrcaj ili prekrcaj. Ručni viličari mogu biti i na električni i dizel pogon (motorni ručni viličari).

U strukturi zastupljenosti najbrojniji su ručni viličari kojih ima oko 85%, a nosivost im je i do 2.000 kg.⁴⁹ S obzirom na konstrukciju i mjesto djelovanja, viličari se mogu razlikovati po grupama, tako da se, na primjer, s obzirom na širinu djelovanja postoje tri generacije viličara.

S obzirom na vrstu pogona, razlikuju se viličari s dizel motorom, sa benzinskim motorom uključujući i one s pogonom na plin, i viličari sa elektromotorom. Brzina kretanja u radu može biti različita ovisno od konkretnih uvjeta. Mogu se naći i podaci o brzini kretanja većoj od 20 km/h.⁵⁰

⁴⁸ Gaines, L.L., . Elgowainy, A., Wang, M.Q.; Full Fuel-Cycle Comparison of Forklift Propulsion Systems; U.S. Department of Energy; Oregon, Listopad.2008.

⁴⁹ Gaines, L.L., . Elgowainy, A., Wang, M.Q.; Full Fuel-Cycle Comparison of Forklift Propulsion Systems; U.S. Department of Energy; Oregon, Listopad.2008.

⁵⁰ Gaines, L.L., . Elgowainy, A., Wang, M.Q.; Full Fuel-Cycle Comparison of Forklift Propulsion Systems; U.S. Department of Energy; Oregon, Listopad.2008.

U dizelskih motora snaga je u funkciji namjene i u rasponu je od 15 kW do 75 kW⁵¹, ali može biti i znatno veća. Viličari na elektropogon napajaju se sa 12, 24, 36 ili 48 V.⁵²

Viličari se uglavnom proizvode serijski za tržište i nepoznatog kupca. S obzirom na vrstu pogona, sve više dolaze do izražaja viličari s elektropogonom, prije svega zbog poznatih ekoloških prednosti. S obzirom na nosivost, standardni se viličari mogu svrstavati na razne načine.

Postoji podjela čeonih viličara na sljedeće grupe:⁵³

- nosivosti do 0,8 t;
- nosivosti od 1 do 1,6 t;n
- nosivosti od 2 do 2,5 t;n
- nosivosti 3 do 3,5 t.

Najveći viličari na svijetu imaju nosivost od 120 t. Ima mogućnost manipuliranja teretom od 110 t na razmaku težišta od točke oslonca 1,2 m. Viličar je opremljen dizelskim motorom snage 399 kW.⁵⁴

S obzirom na položaj tereta u odnosu na viličar, mogu biti bočni i čeonu viličari. U praksi se pojavljuje veliki broj jedinica tereta pakiranih na razne načine po obliku i dimenzijama. Mogu se svrstati u grupe koje imaju zajednička svojstva s obzirom na manipulaciju i transport. Najbolje su za transport viličarom paletno-paketne jedinice raznih vrsta i dimenzija, ovisno od vrste i tipa palete.

Osim paletno-paketnih jedinica, postoje druge jedinice tereta:

- cilindričnog oblika (koluti, žice, role papira, betonske cijevi i dr.);
- snopovi (cijevi, šipke, željezni profili i dr.);
- valjkastog oblika (balvani, bačve i dr.);
- u tekstilnoj i papirnoj industriji;
- u drvnoj industriji (rezana građa, sanduci, celulozno drvo i dr.).

⁵¹ Gaines, L.L., . Elgowainy, A., Wang, M.Q.; Full Fuel-Cycle Comparison of Forklift Propulsion Systems; U.S. Department of Energy; Oregon, Listopad.2008.

⁵² Regodić. D.: Logistika, Univerzitet Singidum, Beograd, 2010., ISBN:978-86-7912-279-7

⁵³ Gaines, L.L., . Elgowainy, A., Wang, M.Q.; Full Fuel-Cycle Comparison of Forklift Propulsion Systems; U.S. Department of Energy; Oregon, Listopad.2008.

⁵⁴ Gaines, L.L., . Elgowainy, A., Wang, M.Q.; Full Fuel-Cycle Comparison of Forklift Propulsion Systems; U.S. Department of Energy; Oregon, Listopad.2008.

4 Ekološki učinkoviti skladišni objekti i oprema

Trend zelene gradnje skladišnih objekata, odnosno općenito gradnje energetske i ekološki učinkovitih prostora (objekata), je svakim danom u porastu. Ekološka učinkovitost je svjetski priznat način smanjenja štetnih utjecaja na okoliš, koji obuhvaća zagađenje lokalnog i regionalnog karaktera (emisije plinova koji zagađuju atmosferu), kao i problem globalnog zagrijavanja i s tim povezanih učinaka na klimatske promjene. Lokalno i regionalno zagađenje, uglavnom u obliku kiselih kiša i loše kvalitete zraka utječe na ljudsko zdravlje, i ekološki sustav općenito. Sve veće razine ugljičnog dioksida (CO₂) u atmosferi uzrokuju ozbiljne probleme širom svijeta.⁵⁵

Kako posljedica ekološke učinkovitosti, javlja se potreba za pravilnim gospodarenje i uporaba energenata, odnosno energetska učinkovitost, jer upravo reduciranje potreba za energentima dovodi do drastičnog smanjenja emisije štetnih plinova u atmosferu. Međutim, iza aspekta gospodarstva, najvažniji kriterij, koji donosi povećanju energetske učinkovitosti, je smanjenje troškova vezanih uz potrebu za energentima. Iz spomenutog razloga, u radu, primarna pozornost će biti usmjerena ka energetske učinkovitim skladišnim objektima i skladišnoj opremi.

Energetska učinkovitost je suma isplaniranih i provedenih mjera čiji je cilj korištenje minimalno moguće količine energije tako da razina usluge i stopa proizvodnje ostanu sačuvane. Pojednostavljeno, energetska učinkovitost znači uporabiti manju količinu energije (energenata) za obavljanje istog posla (grijanje ili hlađenje prostora, rasvjetu, proizvodnju raznih proizvoda, pogon vozila, i dr.). Pod pojmom energetska učinkovitost podrazumijevamo učinkovitu uporabu energije u svim sektorima krajnje potrošnje energije: industriji, prometu, uslužnim djelatnostima, poljoprivredi i u kućanstvima.⁵⁶

Važno je istaknuti da energetske učinkovitost nije potrebno promatrati kao štednju energije. Naime, štednja uvijek podrazumijeva određena odricanja, dok učinkovita uporaba energije nikada ne narušava uvjete rada i proizvodnje usluge. Nadalje, poboljšanje učinkovitosti potrošnje energije ne podrazumijeva samo primjenu tehničkih rješenja.

⁵⁵ Morvaj, Z., Sučić, B., Zanki, V., Čačić, G.: Priručnik za provedbu energetske pregleda objekata, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, ISBN: 978-953-7429-25-6, Zagreb, 2010.

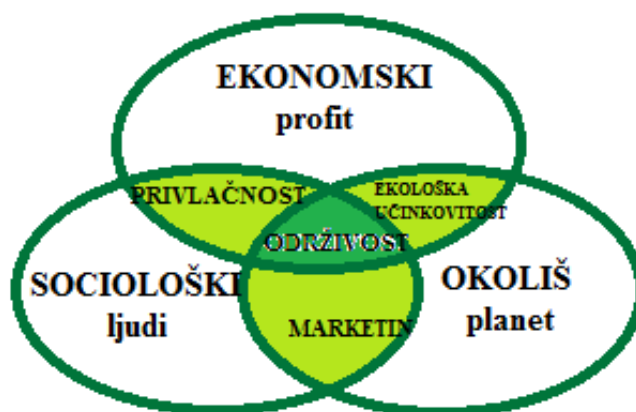
⁵⁶ Morvaj, Z., Sučić, B., Zanki, V., Čačić, G.: Priručnik za provedbu energetske pregleda objekata, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, ISBN: 978-953-7429-25-6, Zagreb, 2010.

Štoviše, svaka tehnologija i tehnička oprema, bez obzira koliko učinkovita bila, gubi to svoje svojstvo ako ne postoje obrazovani ljudi koji će se njome znati služiti na najučinkovitiji mogući način.⁵⁷

Prema tome, može se reći da je energetska učinkovitost prvenstveno stvar svijesti ljudi i njihovoj volji za promjenom ustaljenih navika prema energetski učinkovitijim rješenjima, negoli je to stvar složenih tehničkih rješenja.

Koristi gradnje održivih objekata i procesa:⁵⁸

- reduciranje operativnih troškova;
- poboljšanje učinkovitosti resursa;
- reduciranje troškova održavanja;
- unapređenje zdravlja i produktivnosti zaposlenika;
- poboljšanje kontrole nad procesima;
- produženje radnog vijeka opreme;
- reduciranje negativnih utjecaja na okoliš;
- povećanje marketinških prilika.



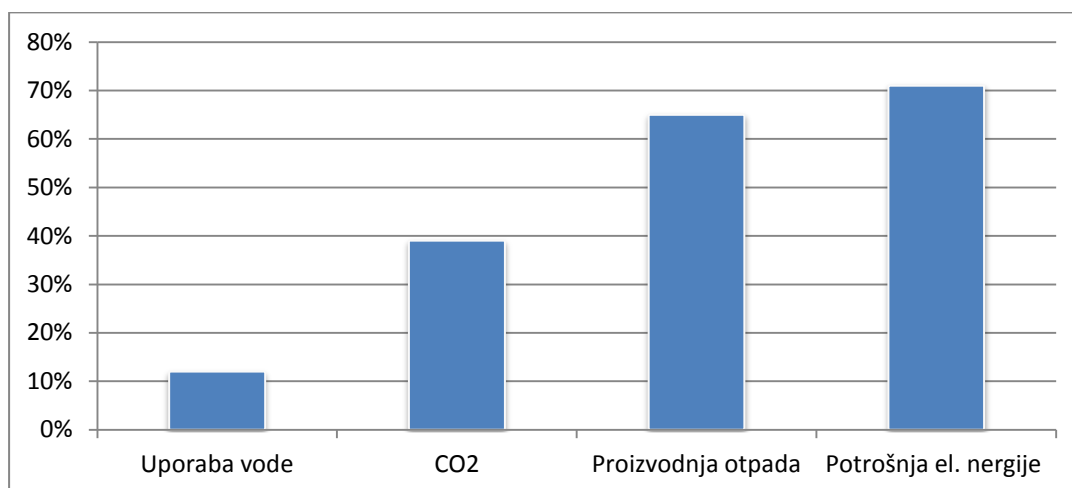
Slika 17. Razlozi uvođenja energetski učinkovitih sustava

Izvor: Izradio autor

⁵⁷ Morvaj, Z., Sučić, B., Zanki, V., Čačić, G.: Priručnik za provedbu energetskih pregleda objekata, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, ISBN: 978-953-7429-25-6, Zagreb, 2010.

⁵⁸ Radzinski, T., The Value of Energy Efficiency for Industrial-Warehouse Buildings Webinar June 26, 2013

Prema podacima U.S. Green Building Council-a industrijske građevine, u koje se ubrajaju i skladišta i distribucijski centri, koriste 12% ukupne godišnje potrošnje vode u SAD-u. Uz to, takve građevine odgovorne su za gotovo 40% ukupne emisije CO₂. Od ukupne količine proizvedenog otpada u S.A.D-u, 65% su rezultat proizvodnih i drugih aktivnosti izravno povezanih s industrijskim građevinama. Enormna potrošnja električne energije (71%) u takvim objektima omogućuje znatne uštede prilikom uvođenja energetski učinkovitih sustava.⁵⁹



Dijagram 3. Udio industrijskih objekata u potrošenim količinama vode, emisije CO₂, proizvedenog otpada i potrošnje električne energije

Izvor: Radzinski, T., The Value of Energy Efficiency for Industrial-Warehouse Buildings Webinar

Da bi se moglo učinkovito upravljati skladišnim objektima potrebno je prvo odrediti što se sve može mjeriti. Jednostavne tablice za praćenje sirovina, kemikalija, vode, komunalija, otpada i povezanih troškova, te periodična analiza tih podataka će pomoći identificirati izvore gubitka ili otpada.

Analiza najčešće uključuje:⁶⁰

- Potrošnja električne energije;
- Potrošnja fosilnih goriva (prirodni plin, propan, nafta);
- Potrošnja vode;
- Otpadne vode;
- Otpad (deponirani i reciklirani).

⁵⁹ Radzinski, T., The Value of Energy Efficiency for Industrial-Warehouse Buildings Webinar June 26, 2013

⁶⁰ Radzinski, T., The Value of Energy Efficiency for Industrial-Warehouse Buildings Webinar June 26, 2013

S udjelom od 16% ukupnih industrijskih objekata u SAD.-u⁶¹, skladišta predstavljaju značajnu priliku za poboljšanje poslovanja, niže troškove poslovanja, smanjenje utjecaja na klimu i povećanje održive gradnje, kroz upravljanje energijom. Uz rastuće cijene energenata, uvođenje dokazane tehnologije za očuvanje energije, može biti vrlo korisna investicija za skladišno poslovanje.

Skladišta su često samo djelomično grijana kako bi se spriječilo smrzavanje, a rijetko se hlade. Potrebe za osvjetljenjem često su samo povremene. Prema podacima Commercial Buildings Energy Consumption Survey⁶², skladišta srednje veličine imaju površinu oko 4.800 m², 94% od ukupno 600.000 skladišnih objekata spadaju u kategoriju "malih skladišta" (manje od 4.600 m²), a samo 2% skladišta su hladnjače.⁶³

Rasvjeta i grijanje su prioritetni ciljevi za smanjenje energetske potrošnje. Usvajanjem novih tehnologija rasvjete, izolacije zidova objekta, grijanja i hlađenja i rashladnih sustava, skladište može postići svoje ciljeve energetske učinkovitosti. Skladišni operateri bi također trebali usvojiti ekološki prihvatljivih navike, kao što su recikliranje i uporaba recikliranih ili "zelenih" materijala.

Bilo da se radi o izgradnji novog skladišta ili opremanje postojećeg implementacija energetski učinkovitih sustava i tehnologije može pomoći smanjiti potrošnju energije skladišnog objekta.

⁶¹ http://smartenergy.illinois.edu/pdf/EST_Warehouses.pdf

⁶² http://smartenergy.illinois.edu/pdf/EST_Warehouses.pdf

⁶³ http://smartenergy.illinois.edu/pdf/EST_Warehouses.pdf

Sedam koraka gospodarenja energijom:⁶⁴

1. Prepoznati motive- da li su ekonomski, ekološki i politički utjecaji potrošnje energije dovoljna motivacija za promjenu načina korištenje energije;
2. Procijeniti učinkovitost- provesti detaljnu analizu trenutnog iskorištenja energije i troškova. Usporediti rezultate sa sličnim objektima;
3. Postavite ciljeve- prepoznavanje ciljeva i ograničenja. Uspostavljanje prioriteta i postavljanje mjerljivih ciljevi s ciljanim datumima;
4. Kreirati akcijski plan- definirati tehničke korake. Primjenjivanje dokazanih metoda za povećanje energetske učinkovitosti ili specijaliziranih smjernica. Dodjela uloga i resursa;
5. Provođenje akcijskog plana- instalacija opreme i promjena operativnih procedura. Uspostava rasporeda održavanja. Praćenje, nadzor i održavanje. Obuka specijaliziranih operatera;
6. Procjena napredaka- usporedba trenutnog stanja sa zacrtanim ciljevima. Procijeniti što se pokazuje dobrom praksom, a što treba doraditi. Prilagoditi postupke, ciljeve i raspored sljedećih procjena;
7. Prepoznavanje postignuća: Osigurati interna priznanje za trud i postignuće pojedinaca, timova i objekata. Zatražiti vanjsko priznanje vladine agencije, medija i sl.



Slika 18. Sedam koraka gospodarenja energijom

Izvor: Izradio autor

⁶⁴ http://smartenergy.illinois.edu/pdf/EST_Warehouses.pdf

4.1 Energetski pregled i energetsko certificiranje objekata

Zakonom o prostornom uređenju i gradnji, ("Narodne novine" br. 76/07), uvodi se obavezna energetska certifikacija objekata u Republici Hrvatskoj. Energetski je certifikat objekta dokument kojim se na jednoznačan način predstavljaju energetska svojstva objekta. Sadržaj i izgled energetskog je certifikata propisan Pravilnikom o energetskom certificiranju objekata ("Narodne novine" br. 36/10), a izdaje ga osoba ovlaštena prema Pravilniku o uvjetima i mjerilima za osobe koje provode energetske preglede i energetsko certificiranje objekata ("Narodne novine" br. 113/08).⁶⁵

Vrijednosti koje su istaknute na energetskom certifikatu odražavaju energetska svojstva objekta i potrošnju energije izračunatu na temelju pretpostavljenog režima korištenja objekta i ne moraju nužno izražavati realnu potrošnju u zgradi ili njezinoj samostalnoj uporabnoj jedinici jer ona uključuje i ponašanje korisnika.

Upravo kroz zadnje navedeno vidi se odnos energetskog certifikata i energetskog pregleda. Naime, energetski je pregled nezaobilazni korak na putu kontrole troškova i smanjenja potrošnje energenata kroz preporuke za promjene u radnom procesu, te preporuke za primjenu zahvata i realizaciju investicija kojima se mogu postići poboljšanja energetske efikasnosti bez ugrožavanja radnih uvjeta u objektu, dok se energetsko certificiranje objekata obavlja kako bi se potrošačima omogućila usporedba i procjena energetske svojstava različitih objekata, te na taj način stimulirao izbor energetski efikasnih rješenja prilikom projektiranja i izgradnje objekta.⁶⁶

Energetski pregled obuhvaća bitno širi krug aktivnosti, jer se za razliku od certificiranja, analizira i vrednuje ponašanje korisnika, te stvarna potrošnja energije u objektu. Energetsko certificiranje ima za cilj usmjeriti korisnike objekata prema energetski efikasnim rješenjima te na taj način prisiliti investitore i izvođače radova na praćenje modernih tehnologija gradnje.⁶⁷

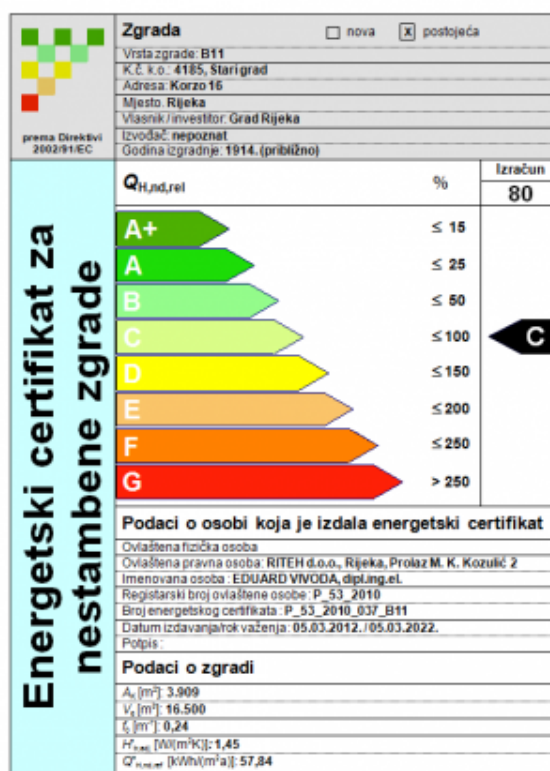
⁶⁵ Morvaj, Z., Sučić, B., Zanki, V., Čačić, G.: Priručnik za provedbu energetske preglede objekata, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, ISBN: 978-953-7429-25-6, Zagreb, 2010.

⁶⁶ Morvaj, Z., Sučić, B., Zanki, V., Čačić, G.: Priručnik za provedbu energetske preglede objekata, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, ISBN: 978-953-7429-25-6, Zagreb, 2010.

⁶⁷ Morvaj, Z., Sučić, B., Zanki, V., Čačić, G.: Priručnik za provedbu energetske preglede objekata, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, ISBN: 978-953-7429-25-6, Zagreb, 2010.

Rezultati energetskeg pregleda daju odgovore na sljedeća pitanja:⁶⁸

- Na koji način i gdje se u analiziranom objektu koristi energija i voda?
- S kojom se efikasnošću energija i voda troše u analiziranom objektu?
- Kolika je referentna potrošnja energije i vode?
- Koliko iznose referentni troškovi za energiju i vodu?
- Koliko iznose utjecaji na okoliš koji su posljedica korištenja objekta te da li su u skladu s relevantnim zakonskim odredbama?
- Koje mjere za poboljšanje efikasnosti korištenja energije i vode imaju ekonomsko opravdanje te koje je zahvate potrebno poduzeti u cilju zadovoljavanja zakonskih propisa?



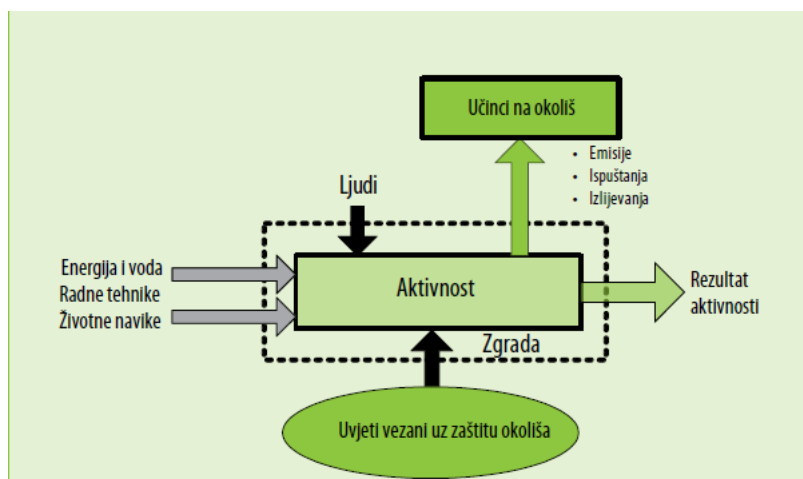
Slika 19. Energetski certifikat za nestambene zgrade

Izvor: <http://www.zelenaenergija.org/blobs/stickies/aa580eb7-6cc3-4c5c-8bdf-69bc8fe8cad2.png>

⁶⁸ Morvaj, Z., Sučić, B., Zanki, V., Čačić, G.: Priručnik za provedbu energetskih pregleda objekata, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, ISBN: 978-953-7429-25-6, Zagreb, 2010.

4.1.1 Energetski pregled skladišnih objekata

U svakom se skladišnom objektu odvijaju određene skladišne aktivnosti. Shematski se aktivnosti mogu predstaviti kao interakcija ljudi, opreme, energije, radnih tehnika i zahtjeva zaštite okoliša (Slika 20.).



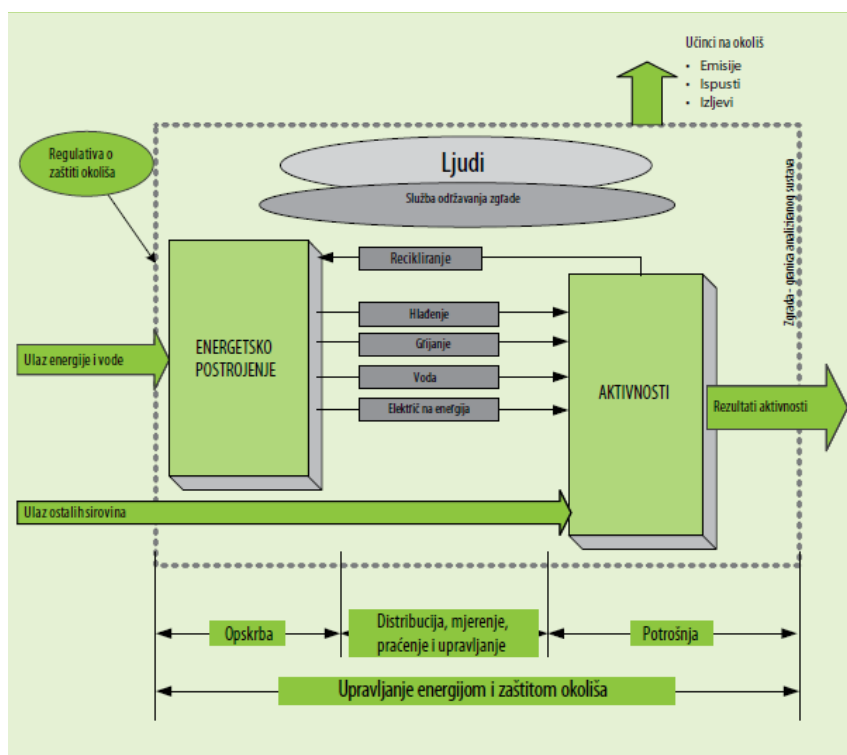
Slika 20. Shematski prikaz funkcioniranja nekog objekta

Izvor: Morvaj, Z., Sučić, B., Zanki, V., Čačić, G.: Priručnik za provedbu energetskih pregleda objekata

Negativni učinci na okoliš koji se javljaju kao posljedica korištenja nekog objekta u direktnoj su vezi s količinom korištene energije i aktivnošću koja se u objektu obavlja. Naime, optimiranjem potrošnje energije i vode smanjuju se i negativni utjecaji na okoliš.

Zahtjevi aktivnosti koja se u skladištu odvijaju predstavljaju osnovu za definiranje energetskih potreba skladišnog objekta. Dovođenjem u vezu potrošnje energije i vode s rezultatima aktivnosti dobiva se jasna slika kako, zašto i koliko se energije i vode troši u takvom objektu. Prilikom energetskog pregleda mora se analizirati efikasnost potrošnje energije i vode u svim segmentima korištenja, od ulaznog postrojenja za energetske transformacije preko razvoda i regulacije do konačne, neposredne potrošnje za primarne skladišne aktivnosti.

Na slici 21 prikazani su svi segmenti koje mora obuhvatiti energetska pregled objekta.⁶⁹



Slika 21. Svi segmenti analize potrošnje energije i vode koji moraju biti obuhvaćeni tijekom energetskeg pregleda zgrade

Izvor: Morvaj, Z., Sučić, B., Zanki, V., Čačić, G.: Priručnik za provedbu energetskeg pregleda objekata

U analizi odnosa potrošnje energije i skladišnih aktivnosti nikako se ne smije zanemariti ljudski faktor. Naime, unaprjeđenja efikasnosti potrebno je tražiti i na strani tehnologije (strojevi, oprema i sl.), ali s aspekta korištenja opreme (ljudski faktor). I najučinkovitija oprema uzaludno troši energiju ako radi bez stvarne potrebe. Upravo se iz zadnje navedenog vidi značaj regulacije i upravljanja potrošnjom energije te stalne veze s aktivnošću koja se odvija u samom skladištu.⁷⁰

Potpunom uspostavom sustava za gospodarenje energijom ostvaruje se stalna veza između potrošnje energije i skladišnih aktivnosti, te se eliminiraju svi gubici uslijed nesavjesne potrošnje.

⁶⁹ Morvaj, Z., Sučić, B., Zanki, V., Čačić, G.: Priručnik za provedbu energetskeg pregleda objekata, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, ISBN: 978-953-7429-25-6, Zagreb, 2010.

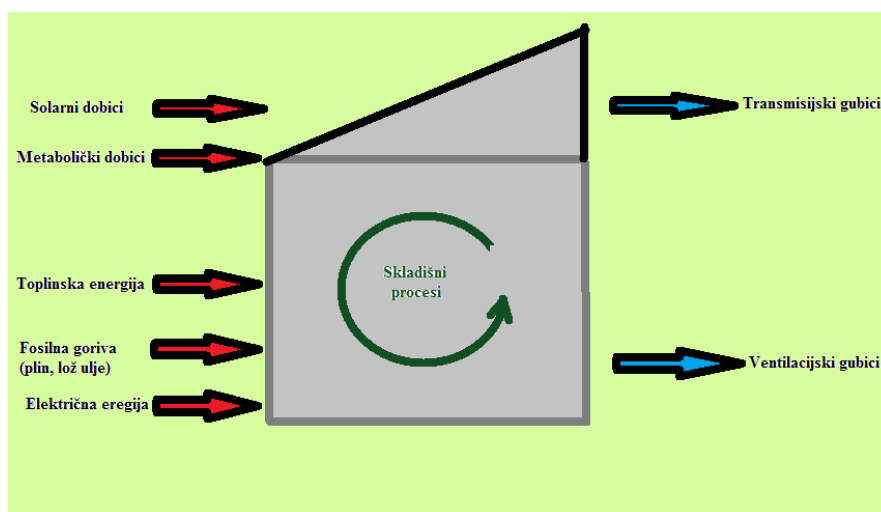
⁷⁰ Morvaj, Z., Sučić, B., Zanki, V., Čačić, G.: Priručnik za provedbu energetskeg pregleda objekata, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, ISBN: 978-953-7429-25-6, Zagreb, 2010.

4.1.2 Izračun energetske učinkovitosti skladišnog objekta

Ako se zanemari ponašanje korisnika, odnosno skladišnog osoblja, potrošnja energije u skladištu ovisi o:⁷¹

- tehničkim karakteristikama samog skladišta (njegovog oblika i konstrukcijskih materijala),
- tehničkim karakteristikama korištenih energetskih sustava (sustavi grijanja, pripreme potrošne tople vode, klimatizacije, električne rasvjete, itd.)
- te o klimatskim uvjetima podneblja na kojem se nalazi. Osnovni pojmovi za analizu potrošnje energije općenito u zgradama, pa tako i skladišnim objektima, su toplinski gubici i dobici, koeficijent prolaska topline te stupanj-dan grijanja/hlađenja.

Na slici 22. prikazano je skladište sa svim tokovima energije, tj. prikazana je energetska bilanca.



Slika 22. Energetska bilanca skladišta

Izvor: Izradio autor

Energetska bilanca skladišnog objekta podrazumijeva sve energetske gubitke i dobite. Pri tome se najčešće govori o toplinskoj bilanci, odnosno razmatra se koliko je energije potrebno da bi se zadovoljile toplinske potrebe objekta. Važno je zapamtiti da je potreba za toplinskom energijom uvijek usko vezana za toplinske gubitke objekta.

⁷¹ Morvaj, Z., Sučić, B., Zanki, V., Čačić, G.: Priručnik za provedbu energetskih pregleda objekata, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, ISBN: 978-953-7429-25-6, Zagreb, 2010.

Naime, dok god su toplinski dobici energije dovoljni za pokrivanje toplinskih gubitaka, u zgradi će se održavati željeni uvjeti toplinske ugodnosti. Prema tome, mora vrijediti jednakost:⁷²

$$Q + Q_{in} + Q_{sun} = Q_{trans} + Q_{vent} + Q_{gg}$$

gdje je:

Q – primarna energija goriva koje se koristi za grijanje prostora,

Q_{in} – unutarnji toplinski dobici,

Q_{sun} – toplinski dobici od sunca,

Q_{trans} – transmisijski gubici,

Q_{vent} – ventilacijski gubici,

Q_{gg} – gubici u sustavu grijanja

Transmisijski gubici nastaju prolazom (transmisijom) toplinske energije kroz elemente ovojnice objekta. Oni ovise o konstrukcijskim elementima zgrade (materijalima izrade vanjske ovojnice (npr. opeka, armirano-betonska konstrukcija), debljini toplinske zaštite, tipu prozora, vrata, itd.

Transmisijski gubici nisu jedini koji određuju potrebe grijanja objekta. Naime, njima se moraju pribrojiti i toplinski gubici zbog provjetravanja, tzv. ventilacijski gubici (Q_{vent}). Oni se određuju na temelju potrebnog broja izmjena zraka, koje su propisane normama HRN 832:2000 i HRN EN 832/AC :2004.⁷³

Osim gubitaka, u skladištima postoje i dobici toplinske energije koji ne dolaze iz sustava grijanja, tzv. slobodni toplinski dobici. U navedene se dobitke uključuje toplinska energija dobivena od radnog osoblja koje borave u prostoru, kao i od različitih uređaja (primjerice rasvjeta, sredstva unutarnjeg transporta itd.) koji se koriste u prostoru. Ovi se dobici nazivaju unutarnji ili interni dobici (Q_{in}). Osim toga, određena količina toplinske energije u prostor dolazi i od sunčeva zračenja (Q_{sun}), u slučaju da je krov izrađen od materijala koji propušta sunčevu energiju.⁷⁴

⁷² Morvaj, Z., Sučić, B., Zanki, V., Čačić, G.: Priručnik za provedbu energetskeg pregleda objekata, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, ISBN: 978-953-7429-25-6, Zagreb, 2010.

⁷³ Morvaj, Z., Sučić, B., Zanki, V., Čačić, G.: Priručnik za provedbu energetskeg pregleda objekata, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, ISBN: 978-953-7429-25-6, Zagreb, 2010.

⁷⁴ ⁷⁴ Morvaj, Z., Sučić, B., Zanki, V., Čačić, G.: Priručnik za provedbu energetskeg pregleda objekata, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, ISBN: 978-953-7429-25-6, Zagreb, 2010.

Da bi sustav grijanja/hlađenja zadovoljio toplinske potrebe skladišta, potrebna je određena količina primarne energije (energenta) Q . Ova je energija veća od korisne energije Q_k jer tehnički sustavi nisu savršeni, tj. oni također imaju svoje gubitke (Q_{gg}). Naime, unutarnja se kalorička energija goriva ne može iskoristiti u potpunosti, jer se dio energije izgubi zbog nepotpunog izgradnja i preko ispuštenih dimnih plinova, a dio se prenosi sa samog kotla na okoliš zračenjem i konvekcijom.

Dakle, potrebna toplina za grijanje ovisi o:⁷⁵

- toplinskim gubicima kroz vanjsku ovojnicu (neprozirne i prozirne dijelove);
- toplinskim gubicima kroz linijske toplinske mostove;
- toplinskim gubicima kroz točkaste toplinske mostove;
- toplinskim gubicima prema tlu;
- toplinskim gubicima prema negrijanim prostorijama;
- toplinskim gubicima kroz ostakljene prostorije;
- toplinskim dobicima od sunca i unutarnjih izvora;
- gubicima uslijed provjetravanja i/ili ventilacije.

Kroz elemente energetske bilance skladišne zgrade nazire se osnovna ideja energetske efikasnosti. Naime, cilj je smanjiti transmisijske i ventilacijske gubitke te gubitke u sustavu grijanja na najmanju moguću mjeru, te povećati toplinske dobite od sunca i pri tome ne narušiti toplinsku ugodnost boravka u prostoru.

Energetske potrebe zgrade uključuju:⁷⁶

- toplinsku energiju za grijanje prostora i pripremu potrošne tople vode;
- električnu energiju za pogon rashladnih uređaja, dizalica topline, te ventilatora i pumpi u sustavima grijanja, ventilacije i klimatizacije;
- električnu energiju za rasvjetu;
- električnu energiju za skladišnu opremu (automatizirani skladišni sustavi, sustavi za pakiranje, konvejeri i sl.);
- električnu energiju za ostale uređaje (uredska oprema, dizala, itd.);
- sekundarne uporabe toplinske energije

⁷⁵ Izvor: Morvaj, Z., Sučić, B., Zanki, V., Čačić, G.: Priručnik za provedbu energetskih pregleda objekata, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, ISBN: 978-953-7429-25-6, Zagreb, 2010

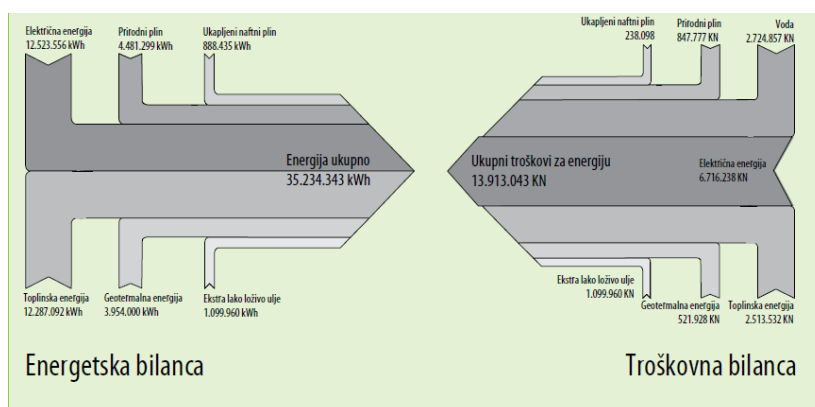
⁷⁶ Izvor: Morvaj, Z., Sučić, B., Zanki, V., Čačić, G.: Priručnik za provedbu energetskih pregleda objekata, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, ISBN: 978-953-7429-25-6, Zagreb, 2010

Struktura potrošnje energije po energetske sustavima u skladištu jako ovisi o klimatskim prilikama, pa tako, primjerice, udio potrošnje energije u sustavu grijanja može varirati od 30 do 60%, dok udio potrošnje energije u rashladnom sustavu može varirati od 3 do 15%.⁷⁷

4.1.3 Analiza potrošnje energije i vode

Dobiti kvalitetnu sliku o potrošnji energije i vode u analiziranom skladišnom objektu te pripadajućim troškovima nemoguće je bez izrade energetske i troškovne bilance. Energetskom je bilancom predstavljena potrošnja pojedinih energenata u ukupnoj godišnjoj potrošnji energije. Troškovnom su bilancom predstavljeni troškovi za pojedine energente i vodu. Energetsku i troškovnu bilancu potrebno je povezati sa skladišnim aktivnostima u objektu i na taj način otvoriti put razumijevanju zašto i koliko se troši energije i vode, te koliko iznose pripadajući troškovi. U pravilu se u troškove ne računa porez na dodanu vrijednost (PDV), tj. sve iskazane vrijednosti su bez PDV-a.⁷⁸

Energetska i troškovna bilanca se izrađuju na temelju dobivenih računa o utrošenim energentima i vodi. Prilikom provedbe energetskog pregleda potrebno je prikupiti podatke o potrošnji energije i vode minimalno za prethodnu godinu, te u svim proteklm mjesecima tekuće godine kako bi se dobila što je moguće kvalitetnija slika o potrošnji energije i vode te pratećim troškovima. Prikupljeni se podaci u izvješću prikazuju grafički i tablično. Na Slici 23. nalazi se primjer preglednog prikaza energetske i troškovne bilance.



Slika 23. Pregled godišnje potrošnje energije i vode te pripadajućih troškova

Izvor: Morvaj, Z., Sučić, B., Zanki, V., Čačić, G.: Priručnik za provedbu energetskih pregleda objekata

⁷⁷ Liu, B., Jarnagin, R. E., Jiang, W., Gowri, K.: Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, 2007.

⁷⁸ Morvaj, Z., Sučić, B., Zanki, V., Čačić, G.: Priručnik za provedbu energetskih pregleda objekata, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, ISBN: 978-953-7429-25-6, Zagreb, 2010.

Tabela 2. Primjer preglednog prikaza energetske i troškovne bilance

	Obračunska	Godišnja potrošnja [obr. jed.]	Godišnja potrošnja [kWh]	Udjel u ukupnoj potrošnji energije	Godišnji troškovi [KN]	Udjel u ukupnim troškovima
Električna energija	kWh	12523556	12523556	0,3554	6716238	0,4827
Toplinska energija iz javne mreže	MWh	12287	12287092	0,3487	2513532	0,1807
Geotermalna energija	MWh	3954	3954000	0,1122	521928	0,0375
Prirodni plin	m ³	483942	4481299	0,1272	847777	0,0609
Ekstra lako loživo ulje	l	109667	1099960	0,0312	350613	0,0252
Ukapljeni naftni plin	kg	69409	888435	0,0252	238098	0,0171
Voda	m ³	382685	-	-	2724857	0,1958
Ukupno			35234343	1	13913043	1

Izvor: Izradio autor prema podacima „Priručnik za provedbu energetske pregleda objekata“

Ovakvim se prikazom podataka korisniku jasno ističe značaj pojedinih energenata u ukupnoj potrošnji energije. Također, odvojeno od energetske i troškovne bilance potrebno je prikazati i jedinične troškove, KN/kWh, za svaki energent kao što je to prikazano na Dijagramu 4. Jedinični se trošak za svaki pojedini energent računa prema izrazu⁷⁹:

$$JT = UT/UE \text{ [KN/kWh]}$$

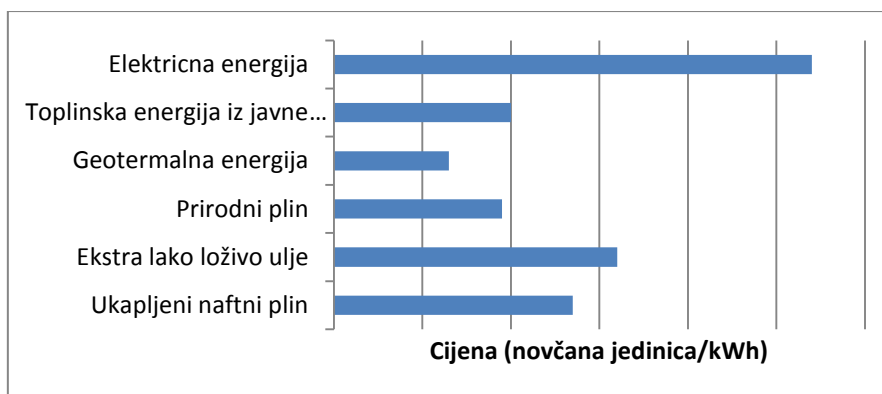
gdje je:

JT = jedinični trošak za analizirani energent,

UT= na temelju računa izračunati ukupni godišnji trošak za analizirani energent (uključene su sve naknade, npr. zakup snage, stalna mjesečna naknada i sl.) u KN

UE= na temelju računa izračunata godišnja potrošnja analiziranog energenta iskazana u kWh.

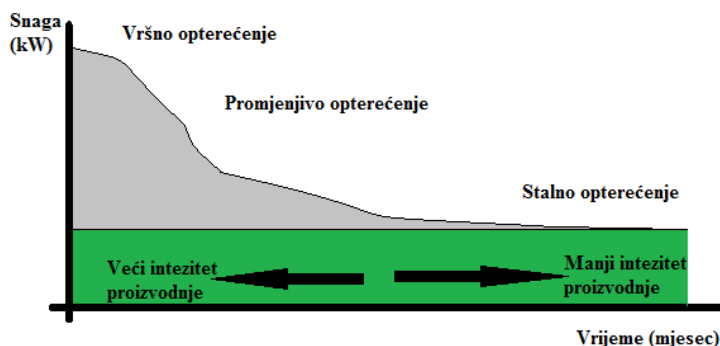
⁷⁹ Morvaj, Z., Sučić, B., Zanki, V., Čačić, G.: Priručnik za provedbu energetske pregleda objekata, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, ISBN: 978-953-7429-25-6, Zagreb, 2010.



Dijagram 4. Primjer prikaza jediničnih troškova za korištene energente

Izvor: Izradio autor prema podacima „Priručnik za provedbu energetskeg pregleda objekata“

Potrošnju svakog od energenata potrebno je analizirati zasebno. Analiza mora obuhvatiti sve mjesece iz perioda od interesa tj. referentne godine. Podaci o potrošnji svakog energenta prikazuju se tablično i grafički. Zbog specifičnosti tj. složenosti odabran je prikaz potrošnje električne energije, (Dijagram 5.). Naime, u cijeni električne energije za veće objekte, pa tako i skladišne, značajan dio otpada na angažiranu električnu snagu, te se uz prikaz potrošnje po mjesecima koristi se i tzv. krivulja trajanja opterećenja.



Dijagram 5. Krivulja trajanja opterećenja

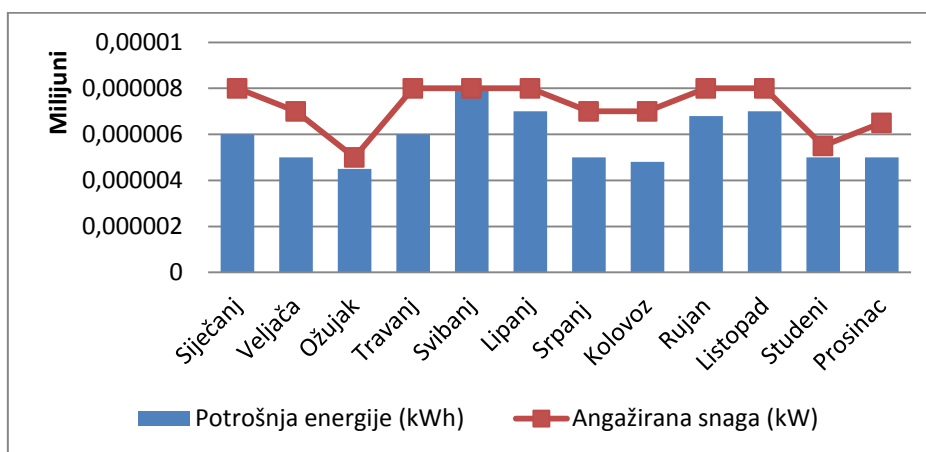
Izvor: Izradio autor

Krivulja trajanja opterećenja koristi se i kod prikaza potrošnje toplinske energije koja se preuzima iz sustava daljinskog grijanja, jer se i tu značajan dio troškova odnosi na zakup potrebne toplinske snage. Toplinska je snaga u računima zadana implicitno tj. računa se dijeljenjem mjesečne vrijednosti utrošene toplinske energije s vremenom rada toplinskog sustava.⁸⁰

⁸⁰ Morvaj, Z., Sučić, B., Zanki, V., Čačić, G.: Priručnik za provedbu energetskeg pregleda objekata, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, ISBN: 978-953-7429-25-6, Zagreb, 2010.

Dakle, u analizi potrošnje električne odnosno toplinske energije se uz prikaz utroška po mjesecima koristi i krivulja trajanja opterećenja zbog slijedećeg (Dijagram 6.):

- U krivulji trajanja opterećenja se osim veličine vršnog opterećenja sasvim jasno vidi i koliko je njegovo trajanje što je ključni podatak za strategiju kontrole vršnog opterećenja.
- Krivulja trajanja opterećenja omogućava izravan uvid u veličinu stalnog i promjenjivog opterećenja, što je bitan podatak kod određivanja efikasnosti potrošnje energije. Općenito govoreći, promjenjivo opterećenje je posljedica varijacija u intenzitetu aktivnosti u skladišnom objektu, dok stalno opterećenje predstavlja potrošnju koja se pojavljuje bez obzira na intenzitet aktivnosti. Naravno, promjenjivo opterećenje nije samo posljedica varijacija u intenzitetu aktivnosti niti je stalno opterećenje nepromjenjivo bez obzira na intenzitet aktivnosti tj. postoje značajni potencijali za smanjenje i jednog i drugog. Kao primjer stalnog se opterećenja može se uzeti i dio opreme koja radi neprekidno nakon uključivanja, iako to nije potrebno.



Dijagram 6. Potrošnja energije i angažirana snaga

Izvor: Izradio autor

Kod prikaza potrošnje ostalih energenata (prirodni plin, ekstra lako loživo ulje i ukapljeni naftni plin) ne koristi se krivulja trajanja opterećenja. Prikaz po mjesecima naglašava sezonski karakter i predstavlja prvi korak prema povezivanju potrošnje energije s intenzitetom aktivnosti na lokaciji. Naime, kako bi se potrošnja svakog energenta pravilno razumjela potrebno ju je povezati s aktivnošću koja se odvija na lokaciji jer samo na taj način podaci o potrošnji energije i vode dobivaju pravi smisao.

Tabela 3. Primjer preglednog prikaza potrošnje električne energije

Obračunsko razdoblje - mjesec	Potrošnja električne energije - viša tarifa [kWh]	Potrošnja električne energije - niža tarifa [kWh]	Ukupna potrošnja električne energije [kWh]	Angažirana snaga [kW]	Prekomjerno preuzeta jalova energija [kVArh]	Troškovi za radnu energiju - viša tarifa [KN]	Troškovi za radnu energiju - niža tarifa [KN]	Ukupni troškovi za radnu energiju [KN]	Troškovi za angažiranu snagu [KN]	Troškovi za prekomjerno preuzetu jalovu energiju [KN]	Ostali troškovi [KN]	Ukupni troškovi za električnu energiju [KN]
Sječanj	145.789	46.800	192.589	783	0	7.956,00	7.956,00	63.355,82	49.798,80	0	106,00	113.261
Veljača	123.890	43.500	167.390	692	0	7.395,00	7.395,00	54.473,20	44.011,20	0	106,00	98.590,40
Ožujak	119.000	34.939	153.939	534	0	5.939,63	5.939,63	51.159,63	33.962,40	0	106,00	85.228,03
Travanj	145.790	49.990	195.780	798	0	7.498,50	7.498,50	55.609,20	33.835,20	0	106,00	89.550,40
Svibanj	190.900	62.920	253.820	810	0	9.438,00	9.438,00	72.435,00	34.344,00	0	106,00	106.885,00
Lipanj	156.872	51.901	208.773	800	0	7.785,15	7.785,15	59.552,91	33.920,00	0	106,00	93.578,91
Srpanj	127.891	39.840	167.731	699	0	5.976,00	5.976,00	48.180,03	27.941,60	0	106,00	76.227,63
Kolovoz	121.344	37.989	159.333	634	0	5.698,35	5.698,35	45.741,87	26.881,60	0	106,00	72.729,47
Rujan	167.890	51.093	218.983	769	0	7.663,95	7.663,95	63.067,65	32.605,60	0	106,00	95.779,25
Listopad	178.909	55.490	234.399	795	0	9.433,30	9.433,30	77.418,72	50.562,00	0	106,00	128.086,72
Studeni	134.090	40.128	174.218	678	0	6.821,76	6.821,76	57.775,96	43.120,80	0	106,00	101.002,76
Prosinac	129.034	42.901	171.935	567	0	7.293,17	7.293,17	56.326,09	36.061,20	0	106,00	92.493,29
Ukupno	1.741.399	557.491	2.298.890	-	0	88.898,81	88.898,81	705.096,08	447.044,40	0	1.272,00	1.153.412,48

Izvor: Izradio autor prema podacima „Priručnik za provedbu energetskih pregleda objekata

4.2 Tehnologije koje omogućuju uštedu energije

U praksi postoje tehnologije za uštedu energije koje se koriste u različitim industrijskim objektima. Međutim, budući da skladište predstavlja znatno drugačiji tip objekta u smislu njegovog rada i potreba za energijom, potrebno je prilagoditi takve tehnologije skladišnim potrebama. Neke od tih tehnologija uključuju sustave grijanja, kontrola ventilacije i vlage, sustave rasvjete i sl.

4.2.1 Vanjska ovojnica

Najveći utjecaj na kvalitetu objekta u smislu energetske učinkovitosti ima ovojnica zgrade, i to ne samo vrste upotrijebljenih materijala već i izvedba pojedinih detalja. Tijekom posljednjih 20 godina došlo je do značajne evolucije standarda projektiranja i izvođenja toplinske zaštite vanjske ovojnice zgrade. Od stanja s kraja 1980-ih godina kada se toplinska zaštita vanjske ovojnice počela razmatrati, ali se na nju pri projektiranju nije obraćalo puno pozornosti, obično samo kod velikih građevina, preko stanja kad je vanjska ovojnica uvedena u šest bitnih zahtjeva za građevinu, pa do činjenice kada se razgovara o obnovi u prošlosti izvedenih ovojnica.⁸¹

Ovojnica skladišnog prostora jedno je ključnih dijelova objekta u smislu reduciranja nepotrebnih troškova i gubitaka energije. Obično se kritičnija potreba za izolacijom javlja u hladnijim podnebljima, toplijim podnebljima (hladnjače) i slično.

S obzirom da skladišta obično imaju jako malo prozora, istraživanje energetske učinkovitog ostakljenje donekle je ograničen zbog niskog utjecaja na konačnu uštedu energije. Veća količina prozorskih površina javlja se jedino u uredskim prostorijama skladišta. Tek velika skladišta rasutog materijala imaju značajniju ostakljenu površinu u uporabi (preko 6% površine krova skladišta⁸²).

Krovni prozori u velikim skladištima su posebno korisni u smanjenju potrebe za električnom rasvjetu, posebno u skladišnim prostorima za rasute terete. Relativno značajan dio ukupnih ušteda došao u obliku smanjenja troškova električne rasvjete. Krovni prozori mogu stvoriti probleme u regijama gdje prevladava hladnija klima, gdje toplinski gubici kroz krovne prozore povećavaju potrošnju energije za grijanje i poništavaju uštedu energije.

⁸¹ Liu, B., Jarnagin, R. E., Jiang, W., Gowri, K.: Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, 2007.

⁸² Liu, B., Jarnagin, R. E., Jiang, W., Gowri, K.: Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, 2007.

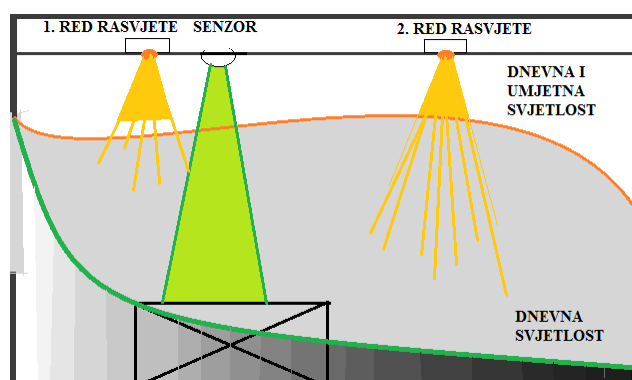
4.2.2 Rasvjeta i dnevna svjetlost

Tehnologije rasvjete i danjeg svjetla koriste se za osiguranje značajne uštede energije u velikim skladišnim objektima, te u nešto manjoj mjeri za skladišta za osobnu uporabu. Primarne razlike u uštedi energije između ova dva prototipa skladišta proizlazi iz činjenice da je skladište za osobnu ima uporabu za puno nižom razinom osvjetljenja zbog izgleda, ali i zbog toga što takva skladišta imaju nisku razinu aktivnosti.

Rasvjetni sustavi u većim skladištima moraju pružiti dovoljno svjetla okomitu na površinu poda, kako bi se omogućilo da radnici učinkovito vide proizvodi koji slažu na police za pohranu. Budući da su njihovi stropovi relativno visoko u usporedbi s tipičnim skladištima za vlastitu uporabu (npr 7 m, naspram 3,5 m)⁸³, svjetlosni izvor mora proizvesti dovoljno rasvjete kako bi se održala odgovarajuća vidljivost.

Istraživanjem različitih dizajna rasvjete i rasporeda rasvjetnih tijela, nastoji se postići niska potrebna snaga za rasvjetu uz maksimiziranje vidljivosti. Kombinacijom uporabe senzora i danjeg svjetla postižu se velike uštede energije. Valja napomenuti da je upravljanje sustavom koje povezuju te dvije tehnologije, od vrlo velike važnosti za pravilno funkcioniranje ovih sustava.

“Inteligentno” upravljanje rasvjetom iskorištava dostupnu dnevnu svjetlost: umjetna se rasvjeta aktivira ili postupno povećava kada sama dnevna svjetlost nije dovoljna. Ako je dostupno dovoljno dnevne svjetlosti, rasvjeta se može isključiti u potpunosti. Stoga, regulacija rasvjete ovisno o dnevnoj svjetlosti pruža najveći stupanj zadovoljstva i najveću mogućnost uštede.⁸⁴



Slika 24. Regulacija rasvjete ovisno o dnevnoj svjetlosti

Izvor: Izrado autor

⁸³<http://www.lipapromet.hr/Usluge/Projektiranje%20svjetlotehnike/Rasvjetaznanjeiiskustva/tabid/72/ctl/details/itemid/194/mid/532/tehnja-energije-regulacija-rasvjete-ovisno-o-dnevnoj-svjetlosti.aspx>

⁸⁴<http://www.lipapromet.hr/Usluge/Projektiranje%20svjetlotehnike/Rasvjetaznanjeiiskustva/tabid/72/ctl/details/itemid/194/mid/532/tehnja-energije-regulacija-rasvjete-ovisno-o-dnevnoj-svjetlosti.aspx>

4.2.3 HVAC i SWH tehnologije

Općenito, HVAC⁸⁵ i SWH⁸⁶ tehnologije su, također, zasnovane na preporuci AEDG za učinkovite objekte, uz dodatak, za skladišta, specifičnih tehnologija. Na primjer, AEDG daje preporuke za upotrebu neslojevitih fenova, kako bi se maksimizirala učinkovitost grijanja u visokostropnim skladištima. Preporuka AEDG-a je i pristup odvojenim sustavima grijanja i hlađenja, gdje je to moguće. Takav pristup predstavlja promjenu u odnosu na dosadašnje standarde, gdje se ista oprema koristi za oba sustava. Preporuka je uporaba sustava toplinskih pumpi s promjenjivim brzinama fenova i kompresora, u svrhu uštede energije, uz istovremenu kontrolu vlage.⁸⁷

Zahtjevi za učinkovitošću uvjetuju proširuju se na opremu s nižom potrošnjom energije, npr. 16 kWh u odnosu na 20 kWh prema normama HRN 832:2000 i HRN EN 832/AC :2004⁸⁸, što je rezultiralo dodatnim uštedama. Motorizirani prigušivači za vanjsku kontrolu zraka u slobodno vrijeme također smanjuje utrošak energije. Svaka od tih tehnologija dokazana je kroz simulaciju, kako bi se postigla ušteda energije u skladišnim zgradama.

SWH sustavi nastoje smanjiti gubitke u stanju čekanja pomoću protočnog bojlera, na fosilna goriva ili plin. Električni protočni bojleri su uzeti u obzir, ali zbog visoke razine zahtjeva za električnom energijom su odbačeni kao nedovoljno učinkoviti sustavi grijanja vode.⁸⁹

U slučaju korištenja sustava s akumulacijskim bojlerom, učinkovitiji su se pokazali električno grijani sustavi.

⁸⁵ HVAC- heating, ventilation and air conditioning (grijanje, ventilacija i klimatizacija)

⁸⁶ SWH-service water heating (grijana voda)

⁸⁷ Liu, B., Jarnagin, R. E., Jiang, W., Gowri, K.: Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, 2007.

⁸⁸ <http://www.zgh.hr/UserDocsImages/zeleni%20kutak/auditprirucnik.pdf>

⁸⁹ Liu, B., Jarnagin, R. E., Jiang, W., Gowri, K.: Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, 2007.

5 Primjer ekološki učinkovitih skladišnih rješenja

U nastavnom poglavlju biti će opisana analiza energetske učinkovitosti skladišnog objekta. Analiza je provedena u simulacijskom programu EnergyPlus od strane autori B. Liu, R. E. Jarnagin, W. Jiang i K. Gowri. EnergyPlus simulacijski program koji koriste inženjeri, arhitekti i znanstvenici za modeliranje i analizu potrošnje energije za grijanje, hlađenje, ventilaciju, rasvjetu i ostala opterećenja, te korištenje vode u građevinama.⁹⁰

Njegov razvoj je u cijelosti financiran od strane US Department of Energy Building Technologies Office. To je jedini službeni simulacijski program koji američka vlada priznaje prilikom dodjele energetskih certifikata pojedinim objektima. EnergyPlus Verzija 2.0 (objavljen travnja 2007) je korišten za procjenu potencijalne uštede energije i preporučenih mjera za poboljšanje energetske učinkovitosti.

Analiza se sastoji od tri dijela. U prvom dijelu biti će opisane osnovne karakteristike objekta. Nakon toga će biti analizirana moguća poboljšanja koja su autori koristili prilikom simulacije, te u zadnjem trošak implementacije rješenja i vrijeme povrata investicije.

To uključuje:

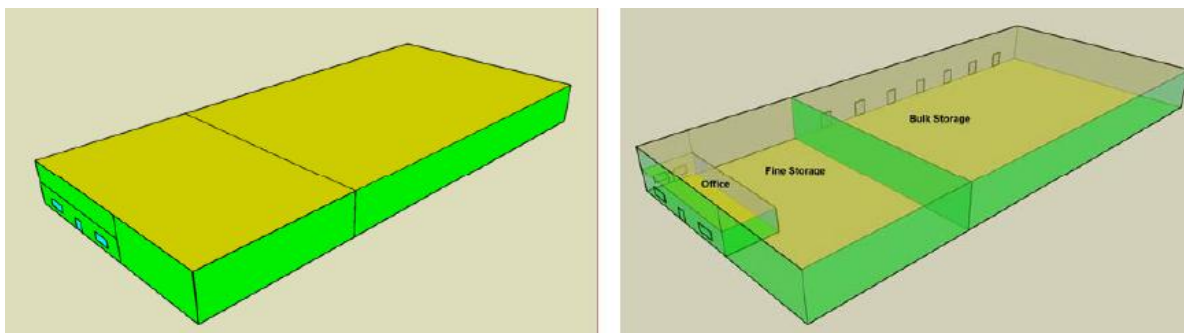
- svojstva ovojnice zgrade;
- unutarnja opterećenja i operativne planove;
- ventilacije i rasporede;
- učinkovitost HVAC opreme, nadzor i dimenzioniranje;
- snaga ventilatora;
- sustav grijanja vode

5.1 Osnovne karakteristike ovojnice objekta

Autori B. Liu, R. E. Jarnagin, W. Jiang i K. Gowri u svojim istraživanjima koje su obavili za Američko ministarstvo trgovine (Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings), u simulaciji koriste skladište veličine 4.500m². Pretpostavlja se da su vanjski zidovi od betonskih blokova, krovovi ravni, a podovi u razini zemlje.

⁹⁰ Liu, B., Jarnagin, R. E., Jiang, W., Gowri, K.: Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, 2007.

Za gradnju vanjske ovojnice objekta koriste se uobičajene građevinske prakse za. Karakteristike vanjske ovojnice zgrade razvijene su kako bi zadovoljile zahtjeve koji proizlaze iz ASHRAE standarda 90.1-1999.⁹¹



Slika 25. Nacrt skladišta u simulacijskom alatu EnergyPlus

Izvor: Liu, B., Jarnagin, R. E., Jiang, W., Gowri, K.: Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings

5.1.1 Vanjska ovojnica objekta

Vanjski zidovi

U ovoj se analizi koriste masivni betonski zidovi skladišta. Ukupni izolacijski faktori za betonske zidove izvedeni su iz tablice A-9 standarda 90.1-1999.⁹² Za masivne betonske zidove, uzimaju se sljedeće vrijednosti (tablica A-5 standarda):⁹³ debljina 7,6 cm, srednje težine, gustoća 1.842 kg/m³. Vanjska ovojnica objekata s betonskim zidovima uključuje sljedeće slojeve:

- Vanjski sloj zraka;
- 7,6 cm betonski blok, 1842 kg/m³;
- Kontinuirana izolacija (R-0 do R-11, varira od klime);
- Unutarnji sloj zraka.

⁹¹ Liu, B., Jarnagin, R. E., Jiang, W., Gowri, K.: Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, 2007.

⁹² Liu, B., Jarnagin, R. E., Jiang, W., Gowri, K.: Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, 2007.

⁹³ Liu, B., Jarnagin, R. E., Jiang, W., Gowri, K.: Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, 2007.

Krov

U ovoj simulaciji autori su koristili ravni, drenažni krov. Ova vrsta krovova koristi kruta izolacijska sredstva kojima se presvlače metalne konstrukcijske ploče. Minimalna U-faktor uključuje R-0,17 za vanjski sloj zraka, R-0 za metalnu ploču, te R-0.61 za unutarnje sloj zraka.⁹⁴

Podovi u razini tla (Slab-On-Grade Floors)

Osnova podova je betonska ploča debljine 16cm izlivena izravno na tlo. Dno ploče je 30 cm ispod razine tla vodljivosti 0.108 W/m-°C.⁹⁵

Izračun vodljivosti zemlje, odnosno prijenos topline kroz prizemne dodirne površine, jedna je od naprednih mogućnosti u EnergyPlus programa, koji na jednostavan i pregledan način prezentira dobivene rezultate. Rezultati ovise o prosječnoj mjesečnoj temperaturi, a regije se kategoriziraju prema 15 različitih klimatskih zona.

U Slab programu, ključni ulazni podaci za izračun temperature tla opisani su:

- Svojstva betonske ploče i gustoća tla;
- Visina zgrade (skladišta);
- Prosječna temperatura unutar objekta;
- R-vrijednost i dubina vertikalne izolacije;
- Debljina betonske ploče.

⁹⁴ Liu, B., Jarnagin, R. E., Jiang, W., Gowri, K.: Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, 2007

⁹⁵ Liu, B., Jarnagin, R. E., Jiang, W., Gowri, K.: Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, 2007.

Otvori (vrata, prozori)

Skladišne zgrade obično imaju mnogo manje prozora u usporedbi s drugim vrstama poslovnih zgrada. Podaci CBECS-a pokazuju da preko 90% skladišnih objekata omjer površine prozora u odnosu na površinu zidova, manji od 10%. Osim toga, pokazalo se da su prozori uglavnom ograničeni samo na uredski prostor.

Izolacijska svojstva prozora kao i koeficijent solarne topline (SHCG) koje prozori propuštaju, definirani su standardima. Zbog toga se u većini slučajeva upotrebljava IZO staklo. IZO staklo (dvostruko, trostruko staklo) se sastoji iz dvije ili više staklenih površina, između kojih se nalazi zračni sloj. Ova stakla se razlikuju po debljini (od 20 mm do 36 mm), npr. 4+12+6 mm znači da je vanjska staklena ploha debljine 4 mm, zračni prostor 12 mm, a unutarnje staklo 6 mm.⁹⁶ Također se razlikuju i po vrsti stakla, kao i obradi. Znači, vanjsko staklo može biti kaljeno, a unutarnje obično.

Ulazak zraka

Infiltracija zraka je neizravno uvjetovana u Standardu kroz zahtjeve o vanjskoj ovojnici zgrade, brtvljenju, rasporedu prozora i vrata, itd.

Za ovu analizu, procijenjena stopa infiltracije zraka dobivena je daljnjim dijeljenjem infiltracijske stope u tri komponente:⁹⁷

- opće infiltracije kroz ovojnice zgrade pukotine i curenja zraka, itd.;
- istjecanje zraka iz rasterećujućih zaklopki središnjih ventilatora, kada su ispušni ventilatori isključeni;
- infiltracija kroz vrata za utovar kamiona ili istovar.

Kao najproblematičniji segment infiltracije zraka unutar skladišnog objekta, pokazala su se ukrcajna vrata. Upravo se u tom segmentu mogu postići najznačajnije uštede.

⁹⁶ <http://www.dual-pvc.hr/pvc-stolarija/prozori>

⁹⁷ Liu, B., Jarnagin, R. E., Jiang, W., Gowri, K.: Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, 2007.

Osnovna jednadžba koja se koristi za izračunavanje infiltracije je⁹⁸:

$$\text{Infiltration} = (\text{Idesign}) (\text{Fschedule}) [A+B|(T_{\text{zone}} - T_{\text{odb}})| + C(\text{WindSpeed}) + D(\text{Windspeed}^2)]$$

gdje je:

Idesign = maksimalna brzina infiltracije u stvarnim uvjetima, m³/min

Fschedule = raspored infiltracija

Tzone - Todb = razlika u temperaturi između vanjskog i unutarnjeg zraka °C

Koeficijenti A=0; B=0; C=0.224; D=0 (EnergyPlus 2007)

Unutarnja opterećenja

Unutarnja opterećenja od rasvjete, ljudi, i raznih drugih izvora općenito su mala u skladišta. Skladišta se koriste za pohranu robe, opreme ili drugih masivnih materijala. Pohranjeni materijali mogu biti dovoljno masivni da izazovu klimatizacijsko vršno opterećenje. Stoga, unutarnja masa se uzima u obzir pri definiranju osnove unutarnjih opterećenja skladišne zgrade.⁹⁹

Modeliranje energetske učinkovitosti unutarnjih opterećenja objekta, pomoću EnergyPlus simulacijskog programa zahtijeva pretpostavke o unutarnjih opterećenja i rasporedu rada. Opterećenja za ljude odnose se na maksimalnu popunjenost u trenutku vršnog opterećenja tipičnog dana.

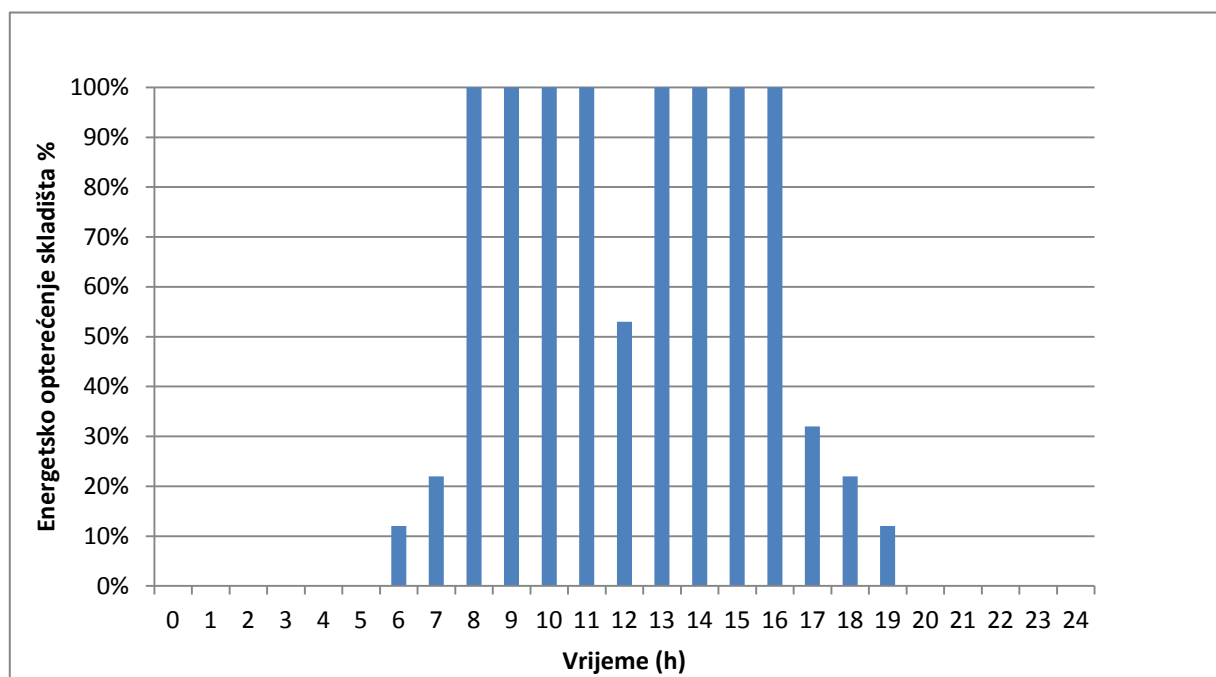
Skladišni operativni planovi su razvijeni na temelju tjednih radnih sati ispitanih od strane CBECS. Analiza CBECS-ove baze podataka pokazuje da prosjek tjednih radnih sati iznosi 52 radna sata.¹⁰⁰

⁹⁸ Liu, B., Jarnagin, R. E., Jiang, W., Gowri, K.: Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, 2007.

⁹⁹ Liu, B., Jarnagin, R. E., Jiang, W., Gowri, K.: Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, 2007.

¹⁰⁰ Liu, B., Jarnagin, R. E., Jiang, W., Gowri, K.: Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, 2007.

Nadalje, radno vrijeme skladišta u simulacijskom alatu je definirano od 8:00 sati do 17:00 sati, od ponedjeljka do subote.¹⁰¹ Dijagram 7. prikazuje raspored energetskog opterećenja skladišta.



Dijagram 7. Raspored energetskog opterećenja skladišta

Izvor: Izradio autor prema podacima „Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings“

Ljudski resursi

Za potrebe ove simulacije, broj zaposlenika je određen prema podacima CBECS-a, i on iznosi 5. Za računalnu simulaciju, pretpostavlja se da razina aktivnosti pojedinog zaposlenika 131 Wh, uključujući 73 Wh dodatne topline i 58 Wh latentne topline.¹⁰² Te vrijednosti predstavljaju stupanj aktivnosti područjima skladišnih zgrada, odnosno energiju koju proizvodi rasvjeta, rad i hodaње.

¹⁰¹ Liu, B., Jarnagin, R. E., Jiang, W., Gowri, K.: Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, 2007.

¹⁰² Liu, B., Jarnagin, R. E., Jiang, W., Gowri, K.: Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, 2007.

Unutarnje osvjjetljenje

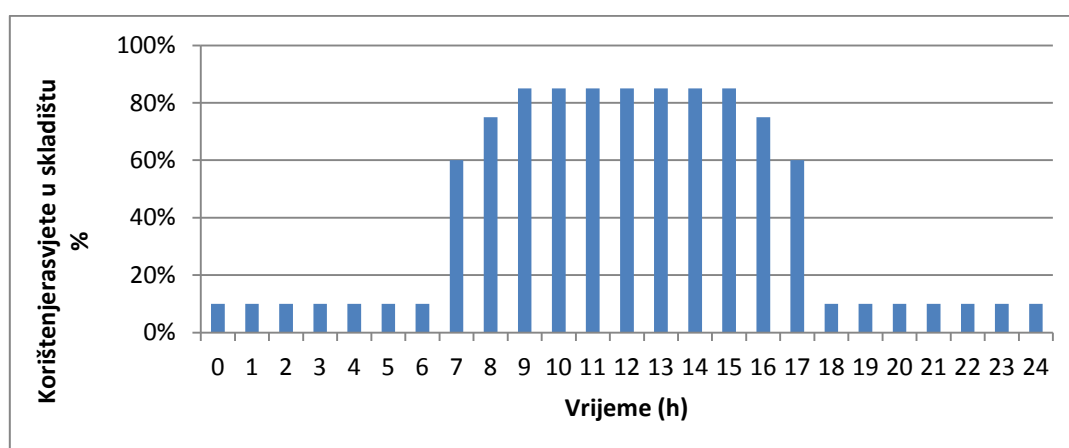
Simulacijski program EnergyPlus omogućuje korisniku da unese informacije o zoni u sustavu električne rasvjete, uključujući razinu snage i raspored rada, i raspored topline inicirane rasvjetom.

Raspored rasvjetnih tijela raspoređeno je prema zonama. U Tabeli 4. su prikazane vrijednosti prilikom uporabe tehnologija prema standardima iz 1999., te iz 2004. Unutarnje razine rasvjetne snage u vatima prikazane u Tabeli 4. su korišteni EnergyPlus za svaku zonu. Dijagram 9. ilustrira tipični raspored rasvjete za fine i glomazne skladišne prostore.

Tabela 4. Raspored i razina rasvjete unutar skladišnih prostora

Vrsta objekta	Skladišna površina	Površina (m ²)	Snaga rasvjetnih tijela (w/m ²)		
			Osnova (Standard 90.1-1999)	Standard 90.1-2004	AEDG-WH
Skladište (4500 m ²)	Zona 1- Uredi	200	13,00	10,00	9,00
	Zona 2- Fino skladište	1150	12,00	8,00	8,50
	Zona 3- Glomazno skladište	3200	12,00	8,00	6,00
	Ukupno	4500	12,10	8,10	6,80

Izvor: Izradio autor



Dijagram 8. Uporaba rasvjete u skladištu

Dodatna opterećenja

Za ovu simulacije pretpostavlja se da dodatna opterećenja za ured i fino skladište iznose 0. Za grubo skladište dodatno opterećenje predstavljaju tri elektro-motorna viličara kapaciteta 2.000 kg. Viličari operativno djeluju tokom osmosatne dnevne smjene, a pune se 16 sati izvan radnog vremena.

Viličari oslobađaju toplinu u vrijednosti 2,7 kWh tijekom 8 sati rada i 0,7 kWh tijekom 16 sati punjenja. Vrijednosti se temelje na pretpostavkama da je učinkovitost motora punjenje je 75%. Energija punjenja za svaki viličar je 32,8 kWh, pa je ukupna energija 98,4 kWh. S obzirom na ukupna bruto površina 3.200m^2 glomaznog skladišnih prostora, to rezultira $3,8\text{ W/m}^2$ opterećenja tijekom radnog dana.¹⁰³

Uskladišteni materijal

U ovakav oblik simulacije uključuje se i sav ostali sadržaj skladišta. Sav uskladišteni materijal djeluje kao akumulator toplinske energija, ali i kao prijenosnik. U ovom konkretnom primjeru. U ovom konkretnom slučaju uskladišteni materijal je pohranjen u regale.¹⁰⁴

- Masa uskladištenog materijala po jedinici površine= $2\,661\text{ kg / m}^2$;
- Ukupni volumen regala = 2.5m širina x 32m dužina x 6m visok = 480m^3 ;
- Korisna zapremina regala = $480\text{m}^3 \times 75\% = 360\text{m}^3$;
- Pretpostavlja se gustoća proizvoda iznosi= 200 kg/ m^3 ;
- Masa regala = $360\text{m}^3 \times 200\text{ kg/ m}^3 = 720000\text{ kg/regal}$ x 12 Regali = 864000kg ;
- Unutarnji gustoća = $864000\text{kg/ } 3200\text{m}^2 = 270\text{kg/m}^2$.

¹⁰³ Liu, B., Jarnagin, R. E., Jiang, W., Gowri, K.: Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, 2007.

¹⁰⁴ Liu, B., Jarnagin, R. E., Jiang, W., Gowri, K.: Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, 2007.

5.1.2 HVAC sustav

Većina skladišnih objekata koristi grijanje i klimatizaciju, za kontrolu unutarnjih mikroklimatski uvjeta. Takva skladišta predstavljaju gotovo 80% ukupnih skladišnih objekata u SAD-u. Neke uskladištene robe ne zahtijevaju nikakve posebne uvjete u pogledu reguliranja temperature ili održavanja određene vlažnosti zraka. Međutim radi održavanja ugodne klime za rad zaposlenicima skladišta, potrebno je kontrolirati temperaturu zraka unutar skladišta o određenim granicama.

U regijama gdje prevladava hladna klima, u većini slučajeva potrebno je održavati temperaturu zraka unutar skladišta iznad 7 °C, kako ne bi došlo smrzavanja materijala, ali i skladišne opreme, bilo osnovne bilo pomoćne (vodovodne cijevi i sl.). Takva skladišta zahtijevaju instalaciju grijalica i ventilatora radi održavanja kontroliranih uvjeta.

Uz to, skladišta moraju biti i opremljenim rashladnim sustavima kako bi se spriječile potencijalne štete na uskladištenom materijalu zbog previsokih temperatura (otapanje i sl.), ali i da bi se osigurali ugodni radni uvjeti skladišnom osoblju.

Kao što je prikazano u Tabela 5., kompleti rashladnih uređaja i plinskih grijalica odabrani su kako bi osigurali dovod zraka za određena područja u skladištu, radi toplinske udobnosti, ili su potrebni kontrolirani termalni uvjeti. Svi kompleti rashladnih uređaja i grijalica je instalirani su na krov.

Tabela 5. Pretpostavka HVAC sustava

Vrsta objekta	Zona	Vrsta HVAC sustava	Granične temperaturne vrijednosti
Skladište (4500m ²)	Uredska zona	Komplet rashladnog uređaja i plinske grijalice	24°C- hlađenje 21°C-grijanje
	Fino skladište	Komplet rashladnog uređaja i plinske grijalice	26°C- hlađenje 15°C-grijanje
	Grubo skladište	Grijače jedinice i centralni ventilatori	7°C-grijanje

Izvor: Izradio autor prema podacima „The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings“

Povećanje učinkovitosti HVAC sustava ostvaruje se kroz sljedeće pretpostavke:¹⁰⁵

- Operativni raspored HVAC sustava;
- Određivanje graničnih vrijednosti početka hlađenja i grijanja;
- Svojstva i efikasnost HVAC opreme;
- Snaga i raspored ventilatora;
- Ekonomično korištenje.

5.1.3 Sustav tople vode

Za ovu simulaciju odabran je sustav tople vode koji koristi obične plinske bojlere namijenjene za kućanstva. Razlog tomu je što skladišni sustavi nemaju velikih zahtjeva za toplom vodom, osim za potrebe u zahodima. Prema američkim normama 90.1-1999 snaga bojlera koji bi zadovoljio te potrebe ne treba biti veća od 12 kW. Za procjenu energetske učinkovitosti bojlera EnergyPlus program zahtjeva sljedeće parametre¹⁰⁶:

- nazivni volumen spremnika vode;
- ulazna snaga u kW;
- koeficijent gubitka topline (izraženo kao UA) u $W/m^2\text{°C}$;
- Omjer unosa topline (HIR) - to je omjer dobivenog kapaciteta topline pri punom opterećenju.

¹⁰⁵ Liu, B., Jarnagin, R. E., Jiang, W., Gowri, K.: Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, 2007.

¹⁰⁶ Liu, B., Jarnagin, R. E., Jiang, W., Gowri, K.: Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, 2007.

5.2 Pretpostavke za poboljšanje karakteristika objekta

Količina potencijalne energije koja se može uštedjeti primjenom energetski učinkovitih tehnologija biti će opisana u nastavku. Naredno poglavlje predstavlja pregled naprednih građevinskih modela i preporučene mjere energetske učinkovitosti provedene u naprednom simulacijskom programu EnergyPlus.

Mjere energetske učinkovitosti su:¹⁰⁷

- Poboljšana nepropusnosti izolacije ovojnice objekta;
- Visoko učinkovita prozorska stakla;
- Smanjena infiltracija zraka kroz utovarna vrata;
- Smanjenje propuštanja zraka kroz rešetkaste prigušivače;
- Reduciranje snage rasvjetnih tijela;
- Krovni prozori i kontrola danjeg svjetla;
- Viša razina učinkovitosti opreme za hlađenje i grijanje;
- Povećanje učinkovitosti korištenjem opreme manjeg kapaciteta (> 16 kW);
- Motorizirani prigušivači za kontrolu ulaska vanjskog zraka;
- Niži stupanj trenja za cjevovodi sustav;
- Protočni sustav tople vode.

5.2.1 Poboljšanja ovojnice objekta

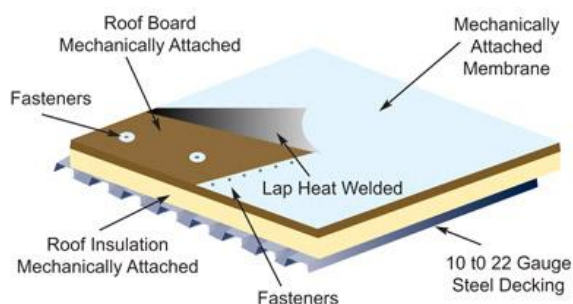
U simulaciji se poboljšanja odnose na objekt bez promjene broja etaža, jednakih površina, rasporeda, jednake ovojnice objekta s poboljšanjima, te isti raspored prozora i vrata. Poboljšanja kojima se dovodi do povećanja učinkovitosti ovojnice unesena su simulacijski program EnergyPlus. To se odnosi na sljedeće:

Neprozirni dijelovi - neprozirni dijelovi, kao što su krov, zidovi, podovi i vrata su modelirani nepromjenjivo u smislu toplinskih kapaciteta u odnosu na polazne točke, ali s poboljšani izolacijskom R-vrijednosti.¹⁰⁸

¹⁰⁷ Liu, B., Jarnagin, R. E., Jiang, W., Gowri, K.: Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, 2007.

¹⁰⁸ Liu, B., Jarnagin, R. E., Jiang, W., Gowri, K.: Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, 2007.

Cool roof – prema preporukama i US standarda uzet je jednoslojni krov s bijelim EPDM membranama. Dakle, solarna refleksija koja se koristi u naprednim slučajevima, je 0.65, dok je toplinsko zračenje 0,86. Ove podatke su autori B. Liu, R. E. Jarnagin, W. Jiang i K. Gowri preuzeli iz studije PG & E (2000) Eilert.¹⁰⁹

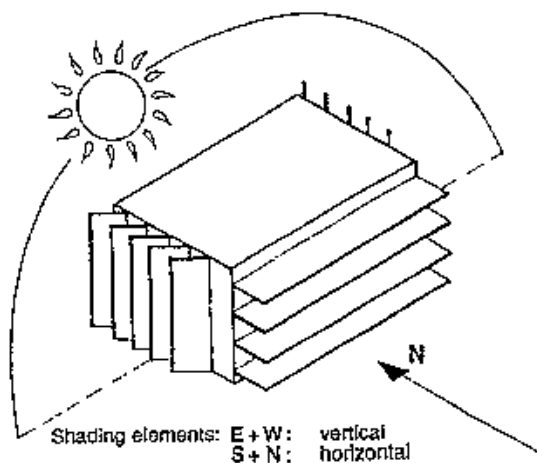


Slika 26. Krov s bijelim EPDM membranama.

Izvor: http://www.roofingsouthwest.com/image_up1/single_ply_roof_illustration.jpg;

<http://roofmylakehouse.com/wp-content/uploads/2015/06/EPDM-2.jpg>

Otvori- raspored svih prozorskih otvora je ostao isti kao i u izvornom slučaju. Smanjenje zagrijavanja unutar objekta, kroz prozore riješen je kroz instalaciju uređaja koji omogućuju stvaranje sjene, odnosno sustav za zaštitu od sunca (Slika 27.).

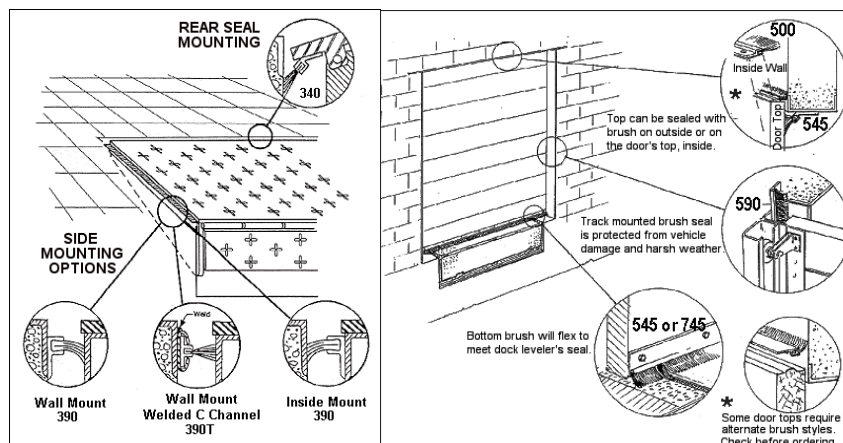


Slika 27. Sustav za zaštitu od sunca

Izvor: <http://www.nzdl.org/gsd/collect/hdl/index/assoc/HASHb5f9.dir/p105a.png>

¹⁰⁹ Liu, B., Jarnagin, R. E., Jiang, W., Gowri, K.: Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, 2007.

Ulazak zraka – Kako bi se smanjila količina ulaska vanjskog zraka u skladišne prostore na ulaznim rampama su montirale brtve (Slika 28.).



Slika 28. Brtvljenje utovarnih vrata

Izvor: <http://www.vectors.com/images/lev001.gif>; <http://www.vectors.com/images/sectional2.gif>

Osim toga, smanjenje istjecanja zraka kroz prigušivače ispušnih ventilatora mogu se postići pomoću zaklopke s manjom stopom propuštanja (Slika 29.).



Slika 29. Prigušivači

Izvor: http://catalog.swartwout.com/catalog/models/2/CBS7-8_sm.jpg

Iz Tabele 6. jasno se vidi veliko smanjenje količine infiltriranog zraka koji ulazi skladišni prostor. Najveći pomak se očituje u sprječavanju ulaska zraka kod otvorenih vrata, korištenjem brtvi. S početnih 1.330 m³/h, taj je iznos pao skoro četiri puta, na svega 344 m³/h.

Tabela 6. Osnovne i unaprijeđene vrijednosti infiltracije zraka

Ulazak zraka	Početno stanje (ASHRAE Standard 90.1-1999)	Unaprijeđenje
Opće infiltracije	0,1931 l/s/m ² na cijelom vanjskom zidu; 1700 m ³ /h kroz cijeli objekt	Isto u odnosu na početno
Isticanje zraka kroz prigušivače ispušnih ventilatora	3400 m ³ /h	2300 m ³ /h
Zatvorena utovarna vrata	2 l/s/m ² za sva vrata; 54 m ³ /h	1,4 l/s/m ² za sva vrata; 38 m ³ /h
Otvorena utovarna vrata	1330 m ³ /h	344 m ³ /h

Izvor: Izradio autor prema podacima „The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings“

5.2.2 Poboljšanje sustava rasvjete

U simulaciji su primijenjene napredne razine osvjetljenja koje su niže od onih koje su uvjetovane standardom 90.1-2004 (ANSI / ASHRAE / IESNA 2004).¹¹⁰ Razina rasvjete za uredska područja postavljena je na 9,5 w/m², u skladu s preporukama iz AEDG-tako i 1 w/m² niža nego zahtijevana prema standardu 90.1-2004. Smanjena je razina rasvjete za fini skladišni prostor sa 12,5 w/m² (sukladno standardu 90.1-1999) na 9 w/m². Slično, razina rasvjete glomaznog skladišnog prostora postavljena je na 6 w/m². Tabela 7. sažima napredne razine rasvjete ugrađene u modele EnergyPlus za oba slučaja. Kao što je prikazano u Tabeli 7., prosječna razina rasvjete smanjenje su za 44% u odnosu na standard 90.1-1999 osnovica i 16% u odnosu na početne vrijednosti.¹¹¹

Tabela 7. Usporedba vrijednosti osvjetljenja

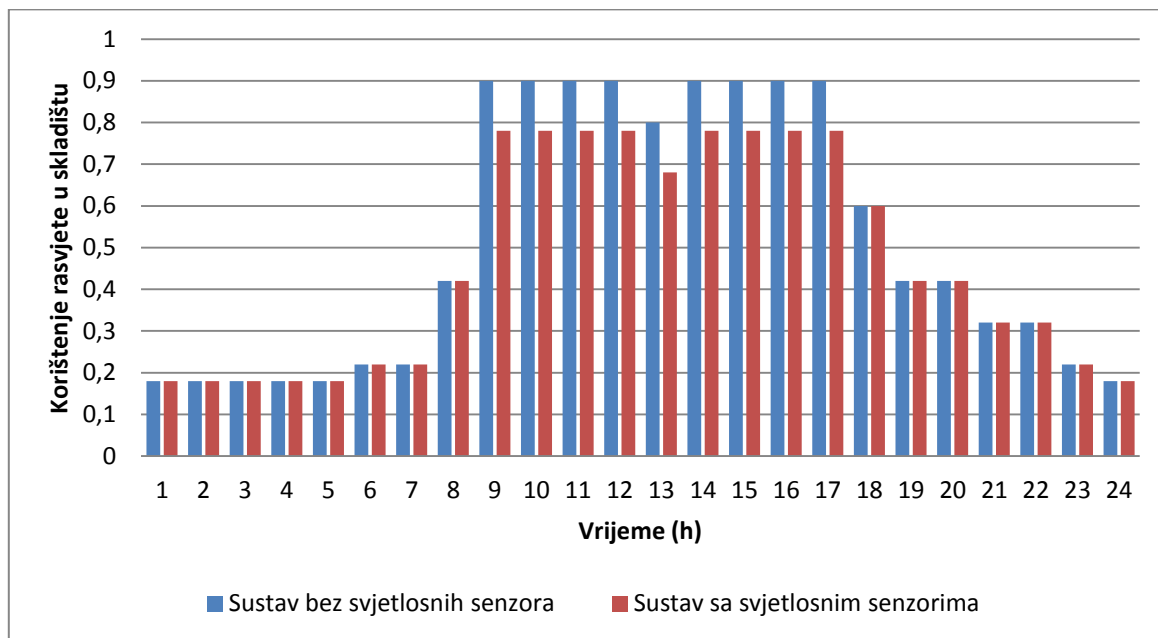
Vrsta objekta	Skladišna površina	Površina (m ²)	Snaga rasvjetnih tijela (w/m ²)		
			Osnova (Standard 90.1-1999)	Standard 90.1-2004	AEDG-WH
Skladište (4500 m ²)	Zona 1- Uredi	200	13,00	10,00	9,00
	Zona 2- Fino skladište	1150	12,00	8,00	8,50
	Zona 3- Glomazno skladište	3200	12,00	8,00	6,00
	Ukupno	4500	12,10	8,10	6,80

Izvor: Izradio autor prema podacima „The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings“

¹¹⁰ Liu, B., Jarnagin, R. E., Jiang, W., Gowri, K.: Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, 2007.

¹¹¹ Liu, B., Jarnagin, R. E., Jiang, W., Gowri, K.: Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, 2007.

Za simulaciju se koristi instalacija 6-postotnih prizmatičnih difuzijskih krovnih prozora. Nadalje, također se preporuča automatska kontrola zatamnjenja prozora. U Dijagramu 9. su prikazani modeli sa i bez senzorske kontrole paljenja i gašenja svjetla u skladištu.



Dijagram 9. Korištenje rasvjete sa i bez senzorske rasvjete

Izvor: Izradio autor prema podacima „The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings“

5.2.3 Poboljšanja HVAC sustava

Radi povećanja učinkovitosti rashladnih i sustava za grijanje koristi se opreme za HVAC oprema tipa 5-tonski 13 SEER je dostatan za uredske prostorije, te 15-tonski EER za hlađenje i grijanje prostora finog skladišta. Preporuka je u skladu sa zahtjevima u AEDG-a. Prema preporuci AEDG sniženje prag ekonomičnosti opreme sad 19 kW na 16 kW.¹¹²

Nadalje, model koristi elektromotorne prigušivače ventilatora. Sustav slijedi napredni sustav regulacije ispušnog tvora prema sljedećem rasporedu:

1. Tijekom radnog vremena (okupirani radni sati), sustav otvara protok zraka iz skladišta na 100% kapaciteta.
2. Izvan radnog vremena sustav zatvara protok zraka, kako bi spriječio nepotrební ulaz vanjskog zraka.

¹¹² Liu, B., Jarnagin, R. E., Jiang, W., Gowri, K.: Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, 2007.

Tabela 8. prikazujedetaljne zahvate, kako na samom skladišnom objektu, tako i na skladišnoj opremi

Tabela 8. Početna obilježja skladišnog objekta i sustava i obilježja nakon poboljšanja

	Krov		Vanjski zidovi	Unutarnji zidovi	Oprema vrata			Vertikalni prozori			Krovni prozori			
	Izolacija krova	Indeks solarne refleksije	Betonski zidovi	Pregradni zidovi	Utovarna vrata	Utovarna vrata-infiltracija-otvoreno	Utovarna vrata-infiltracija-zatvoreno	Termalna propusnost	Koeficijent solarnih toplinskih dobitaka	Vanjska zaštita od sunca (samo jug, istok, i zapad)	Površina	Toplinksa šropusnost	Koeficijent solarnih toplinskih dobitaka	Propuštanje svjetlosti
Početno stanje	R-7.0	NP	R-4.0	NP	NP	635 L/s·m2	2.03 L/s·m3	NP	NP	NP	Nema krovnih prozora	Nema krovnih prozora	Nema krovnih prozora	Nema krovnih prozora
Poboljšanje	R-10.0 cl	NP	R-5.7	R-13.0	U-0.500	1.31 L/s m2	1.31 L/s m3 Uporabom brtvi	U-0.60	NP	NP	5-7% ukupne površine krova	U-1.36	NP	0.59
	Unutarnja rasvjeta						HVAC		Ekonomizatori	Ventilacija	Instalacije			SWH
	Unutarnja rasvjeta-(w/m2)			Oprema										
	Zona 1- Uredi	Zona 2- Fino skladište	Zona 3- Glomazno skladište	Linearne florescentne cijevi	Kontrola korištenja dnevnog svjetla	Kontrola korištenja unutarnje rasvjete	HVAC	Destratifikacija	Klima uređaji i grijalice	Prigušivači	Brtvljenje	Lokacija	Stupanj izolacije	Ulazna snaga (kW/h)
Početno stanje	13,00	12,00	12,00	NP	NP	Manualna	19 Kw	NP	NP	NP	NP	Unutarnja uporaba	NP	6
Poboljšanje	9,00	8,50	6,00	T5HO ili T-8	Automatska	Automatska (senzori)	16 kW	Destratifikacijski ventilatori velikog kapaciteta	15 kW	Automatski kontrolirani	Brtve klase B	Unutarnja uporaba	R-6	6

5.3 Troškovi uvođenja energetske učinkovitih mjera i povrat investicija

Troškovi za različite mjere uštede energije se razvijaju kao dodatni troškovi poslovanja skladišta. Radi izračuna perioda povrata uložених sredstava potrebno je odrediti troškove instalacije takvog sustava, kao i količinu ušteda koje takvi sustavi ostvaruju.

Tabela 9. prikazuje ukupne troškove instalirane opreme i sustava koja iznosi 1.174.800 kn. Najznačajnije stavke su instalacija decentraliziranog sustava grijalica za skladišni prostor (290.400 kn), te izolacija vanjskog zida (212.000 kn). Upravo ta dva elementa su i najvažnija radi ostvarenja učinkovitosti cjelokupnog skladišnog sustava.

Međutim, uz ove velike stavke vidljivi su i unaprjeđenja koja ne iziskuju tako velika investicijska ulaganja. Neki vrlo mali zahvati, financijski vrlo povoljno također mogu znatno doprinijeti ostvarenju ekološki učinkovitog skladišta (unutarnji ventilacijski prigušivači-130 kn, vanjski prigušivač zraka-1.320 kn).¹¹³

Tabela 9. Troškovi instalacije energetske učinkovitih sustava

Stavka	Nepropusni elementi					Otvori	
	Krov	Montaža vanjskog zida	Montaža unutarnjeg zida	Montaža ploče	Utovarna vrata	Prozori	Krovni prozori
Cijena	107.000,00 kn	212.000,00 kn	9.600,00 kn	6.000,00 kn	103.000,00 kn	4.300,00 kn	258.000,00 kn
Stavka	Unutarnja rasvjeta			Grijanje		Ekonomičnost operacija	
	Rasvjeta	Kontrola dnevnog svjetla	Senzori rasvjete	Učinkovite peći	Decentralizacija	Ekonomičnost ureda	Ekonomičnost skladišta
Cijena	13.100,00 kn	125.400,00 kn	3.950,00 kn	- kn	290.400,00 kn	13.200,00 kn	- kn
Stavka	Ventilacija		Instalacije	Cijevi	SWH	Hlađenje	UKUPNO
	Vanjski prigušivači zraka	Unutarnji ventilacijski prigušivači	Montaža	Montaža	Faktor učinkovitosti	Efikasnost rashladnih uređaja	
Cijena	1.320,00 kn	130,00 kn	2.400,00 kn	2.100,00 kn	3.100,00 kn	19.800,00 kn	1.174.800,00 kn

Izvor: Izradio i prilagodio autor prema podacima „The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings

¹¹³ Liu, B., Jarnagin, R. E., Jiang, W., Gowri, K.: Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, 2007.

Isplativosti se može najizravnije prikazati promatrajući odnos investicije i ušteda energije koju investicija donosi. Prema podacima koje su autori B. Liu, R. E. Jarnagin, W. Jiang i K. Gowri naveli u svojoj analizi ušteda električne energije iznosi 227.529 kWh¹¹⁴, a prirodnog plina 2.714 m³.¹¹⁵.

Preneseno u uvjete Republike Hrvatske, gdje je cijena el. Energije 0,38 kn po jednom isporučenom kWh visokonaponske struje¹¹⁶, te 2.984 kn/m³¹¹⁷, dolazi se do ukupne uštede od 94.559,60 kn godišnje. S obzirom na takvu uštedu, povrat investicije je 12,42 godine kao što je prikazano u Tabeli 10.

Tabela 10. Ušteda energenata na godišnjoj razini i povrat investicije

Troškovi investicije	Ušteda troškova energenata		UKUPNO	Povrat investicije (god)
	Električna energija	Plin		
1.174.800,00 kn	86.461,02 kn	8.098,58 kn	94.559,60 kn	12,42

Izvor: Izradio autor

¹¹⁴ Liu, B., Jarnagin, R. E., Jiang, W., Gowri, K.: Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, 2007.

¹¹⁵ <http://www.gpz-opskrba.hr/default.aspx?id=128>

¹¹⁶ <http://www.hep.hr/ods/kupci/poduzetnistvo.aspx>

¹¹⁷ Liu, B., Jarnagin, R. E., Jiang, W., Gowri, K.: Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, 2007.

5.4 Prijedlog načina vrednovanja ekološke učinkovitosti skladišnih objekata

Analizirani primjer simulacije prikazuje vrlo dobro osmišljen način uštede energije u skladišnom objektu. Međutim, postoje tehnologije koje bi mogle dodatno unaprijediti prikazani skladišni sustav. Implementacijom obnovljivih izvora energije osigurala bi se neovisnost objekta o energiji iz mreže.

Skladišni objekt s nultom neto energetsom potrošnjom i nultom neto emisijom ugljičnog dioksida godišnje naziva se skladište nulte energije (eng. zero-energy warehouse). Nulta neto energetska potrošnja znači da bi skladište nulte energije mogla biti nezavisno od energetske mreže, ali u praksi to znači da se u nekim periodima energija dobiva iz energetske mreže, a u ostalim periodima se vraća u energetska mrežu (zbog toga jer su obnovljivi izvori energije uglavnom sezonski).

Da bi se to postiglo energija se mora generirati unutar kompleksa koristeći obnovljive izvore energije koji ne zagađuju okoliš. Skladište nulte energije zanimljive su i zbog zaštite okoliša jer se zbog obnovljivih izvora energije ispušta vrlo malo stakleničkih plinova.

Ovakvi sustavi, uz u Poglavlju 4.2 navedene tehnologije, bi koristili i sljedeće:¹¹⁸

- Pasivne solarne tehnologije;
- Aktivne solarne tehnologije;
- Geotermalne tehnologije;
- Tehnologije za recikliranje topline iz vode.

Također, za obavljanje skladišnih operacije unutarnjeg transport, mogu se koristiti visoko učinkoviti električni viličari. Električni viličari koriste se prije svega radi smanjenja ispušnih plinova i buke. Uz navedene prednosti elektro viličari izuzetno su pouzdani i izdržljivi, a pri tom i vrlo ekonomični. Snažne pogonske baterije visokog učinka i velikog kapaciteta, te dugim rokom trajanja pružaju snagu rada za 8-satnu smjenu. Organiziranjem skladišnih procesa i organizacije rada, na način koji uključuje i prikladnu uporabu ovakvih viličara, uvelike povećava energetska učinkovitost i smanjuje emisiju štetnih plinova. Punjenje ovakvih viličara bi se odvijalo nakon radnog vremena skladišta od 17:00 do 8:00 iz obnovljivih izvora energije (aktivne solarne tehnologije).

¹¹⁸ http://www.optiterm.hr/energetski_ucinkovite_kuce.html

Kao što je u Poglavlju 4 opisano, da bi se adekvatno mogla vrednovati ekološka učinkovitost skladišnog objekta potrebno analizirati potrošnju energije i vode tijekom određenog vremenskog perioda (najčešće od jedne godine). Da bi se na pravilan i precizan način provela simulacija takvog sustava, analizi se pristupa sustavno i metodološki, prikupljajući što više relevantnih podataka, i to na način koji je nastavno prikazan u Tabeli 11.

Prvi korak pri analizi je odrediti vrstu skladišta (prizemno, katno, skladište za posebne namjene), kako bi se dalje mogli odrediti zahtjevi koji se stavljaju pred analizirano skladište. Sljedeći korak je određivanje vlasništva nad skladištem. Vrlo bitna stavka prilikom analize zbog visokih investicijskih troškova koje gradnja ili adaptacija takvog skladišta zahtjeva. Ukoliko se radi o skladištu u najmu, potrebno je odrediti vremenski period na koji su se najmodavac i najmoprimac ugovorno obvezali, radi kasnije usporedbe s rokom povrata investicije.

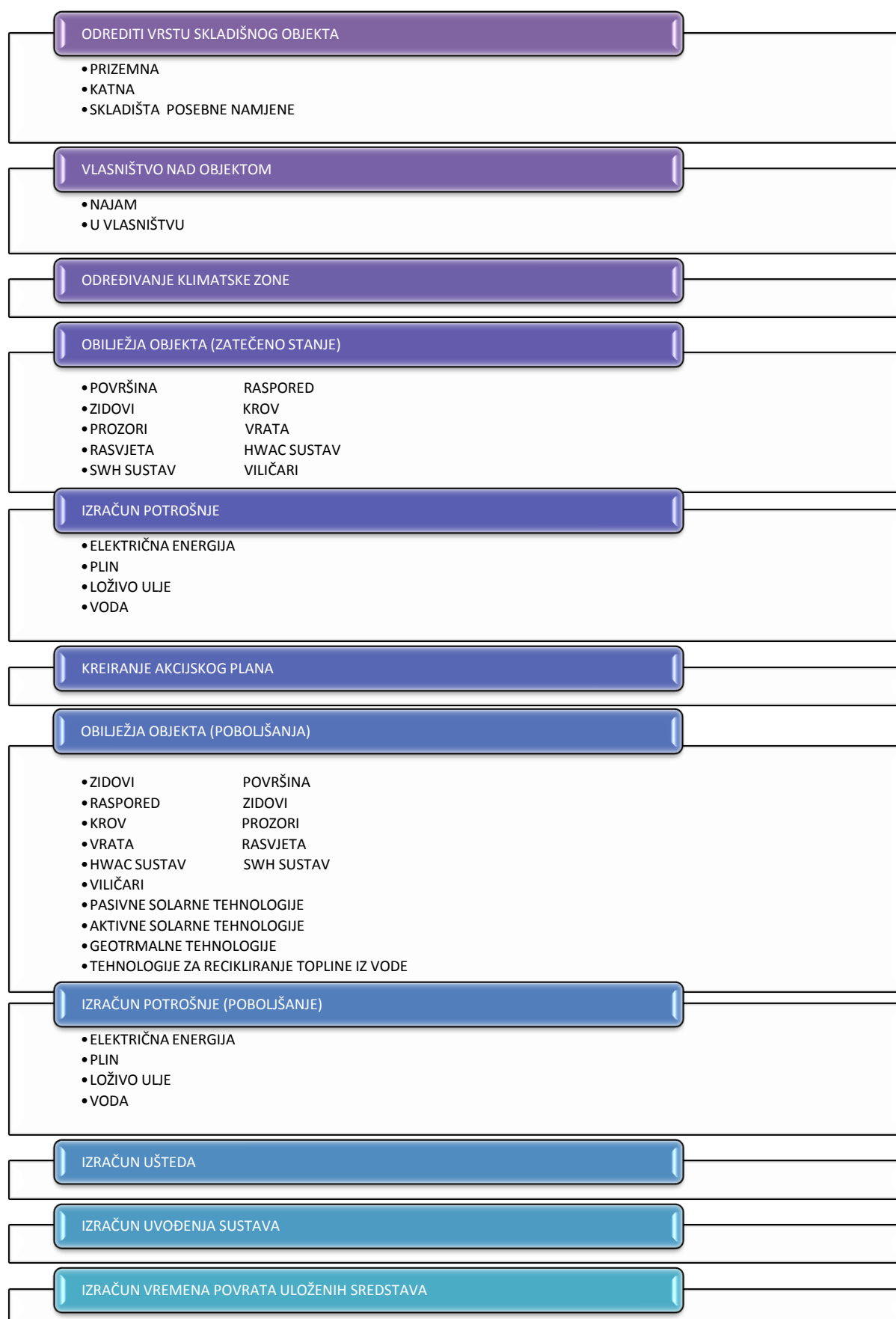
Odrediti klimatsku zonu u kojoj se analizirano skladište nalazi proizlazi iz različitih zahtjeva koje različita klimatska zona stavlja pred skladišni objekt. Tako na primjer, hladnjača koja se nalazi u klimatskoj zoni u kojoj prevladava klima s visokim temperaturama zraka, treba imati znatno veća izolacijska svojstva vanjske ovojnice od one koja se nalazi u klimatskoj zoni umjerene klime ili hladnoj klime.

Zatim, potrebno je analizirati obilježja skladišta, odnosno njegovo trenutno stanje, što uključuje raspored skladišnih površina, zidova, karakteristike ovojnice, krovove, ali i sve ostale sustave koji su neophodni za odvijanje skladišnih operacija (vrata, rasvjeta, HWAC sustav, SWH sustav, viličari), radi kasnijeg kreiranja akcijskog plana.

Sljedeći korak je izračun potrošnje energenata i troškova. Energetska i troškovna bilanca se izrađuju na temelju dobivenih računa o utrošenim energentima i vodi. Prilikom izračuna energetske potrošnje potrebno je prikupiti podatke o potrošnji energije i vode minimalno za prethodnu godinu, te u svim proteklm mjesecima tekuće godine kako bi se dobila što je moguće kvalitetnija slika o potrošnji energije i vode te pratećim troškovima.

Nakon toga potrebno je kreirati akcijski plan koji uključuje uvođenje poboljšanja u obilježjima skladišnog objekta, uvođenjem poboljšanja u postojeće sustave, te uvođenje novih ekološki prihvatljivih sustava. Naknadno se računa potrošnja energenata, uštede koje se ostvaruju, te vrijeme povrata investicije.

Tabela 11. Sustavni pristup analizi energetske učinkovitosti skladišta i njegovo poboljšanje



6 Zaključak

Skladišni sustav je jedan od najvažnijih čimbenika cijelog opskrbnog lanca. On predstavlja točku u kojoj se amortiziraju prostorne i vremenske razlike ponude i potražnje. Učinkovito upravljanje skladišnim procesima i opremom uvelike smanjuje troškove, što u konačnici dovodi do nižih cijena samih proizvoda. Energetski učinkoviti skladišna oprema ima pozitivan utjecaj na okoliš.

Zbog velike potrošnje energije u skladišnim objektima, a istovremeno i najvećeg potencijala energetskih i ekoloških ušteda, energetska efikasnost je danas prioritet suvremenog skladišnog planiranja. Toplinska zaštita skladišta jedan je od velikih potencijala energetskih ušteda. Nedovoljna toplinska izolacija dovodi do povećanih toplinskih gubitaka zimi, hladnih obodnih konstrukcija, oštećenja nastalih kondenzacijom (vlagom), te pregrijavanje skladišnih prostora ljeti.

Sustavi grijanja, hlađenja i ventilacije čine najveće potrošače energije u zgradi. Na potrošnju energije otpada čak 62%.¹¹⁹ Naravno taj udio varira ovisno o klimatskim uvjetima, toplinskoj zaštiti zgrade itd.

Danas postoje vrlo kvalitetni i precizni programski alati kao što je EnergyPlus za simulaciju energetske učinkovitosti skladišnih objekata. Promatrajući skladište iz perspektive ekološki prihvatljivog utjecaja na okoliš, može se zamijetiti da postoji veliki broj načina poboljšanja njegove ekološke učinkovitosti. Primjenom različitih oblika energetski učinkovite opreme smanjuje se ovisnost o energentima. Instalacija takve opreme je u pravilu vrlo skupa investicija s dugačkim rokom isplate. Međutim, utjecaj koji na okoliš ostavlja nesavjesno korištenje neobnovljivih izvora energije trebalo bi biti jedan dodatan zamašnjak ka implementaciji takve opreme.

¹¹⁹http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=FINALNA_POTRO%C5%A0NJA_I_ENERGETSKA_EFIKASNOST#Energetska_efikasnost_u_sektoru_zgradarstva

7 Literatura

Knjige

Morvaj, Z., Sučić, B., Zanki, V., Čačić, G.: Priručnik za provedbu energetske pregleda objekata, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, Zagreb, 2010., ISBN:978-953-7429-256

Regodić. D.: Logistika, Univerzitet Singidum, Beograd, 2010., ISBN:978-86-7912-279-7

Treloar, G., Fay, R., Ilozor, B., Love, P.: Building Materials Selection: Greenhouse Strategies For Built Facilities, MCB University Press, 2001., ISSN 0263-2772

Turkalj, Ž.: Poslovna logistika u suvremenom menadžmentu, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek, 2009.; ISBN 978-953-253-072-8

World-Class Warehousing and Material Handling Edward Frazelle, McGraw Hill Professional, 9. lis 2001., ISBN-13: 063-9785330226

Stručna literatura

Autorizirana predavanja iz kolegija Unutrašnji transport i skladištenje, Fakultet prometnih znanosti Zagreb, Zagreb, 2014.

Ballou, R. H.: Business Logistics Importance and Some Research Opportunities, Case Western Reserve University Cleveland, Ohio, 1997.

Gaines, L.L., . Elgowainy, A., Wang, M.Q.; Full Fuel-Cycle Comparison of Forklift Propulsion Systems; U.S. Department of Energy; Oregon, Listopad.2008.

Kumar, R., M., Veeramachaneni, R., Kare, S.: Warehousing In Theory And Practice, University College of Borås School of Engineering, 2007.

Lerher, T., Potrč, I., Šraml, M., Sever, D.; A Modelling Approach And Support Tool For Designing Automated Warehouses, Advanced Engineering, 2007.

Liu, B., Jarnagin, R. E., Jiang, W., Gowri, K.: Technical Support Document: The Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Warehouse and Self-Storage Buildings, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, 2007.

Radzinski, T., The Value of Energy Efficiency for Industrial-Warehouse Buildings Webinar June 26, 2013

Zigiaris, S.: Supply Chain Management, Innoregio Project, 2010.

Internetske stranice

http://catalog.swartwout.com/catalog/models/2/CBS7-8_sm.jpg 12.09.2015.

<http://ervojic.hr/konzolni-regali/> 13.09.2015.

http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=FINALNA_POTRO%C5%A0NJA_I_ENERGETSKA_EFIKASNOST#Energetska_efikasnost_u_sektoru_zgradarstva 12.08.2015.

http://repozitorij.fsb.hr/1070/1/12_07_2010.pdf 18.08.2015.

http://repozitorij.fsb.hr/1947/1/17_09_2012.pdf 01.09.2015.

<http://roofmylakehouse.com/wp-content/uploads/2015/06/EPDM-2.jpg> 12.08.2015.

http://smartenergy.illinois.edu/pdf/EST_Warehouses.pdf 15.08.2015

<http://www.dacocorp.com/drive-drive-thru-pallet-rack-shelving-systems-p-305-l-en.html> 15.08.2015.

<http://www.dexion.ba/Proizvodi/RUKOVANJE-PALETOM/Protoni-paletni-regali/> 15.08.2015.

<http://www.dual-pvc.hr/pvc-stolarija/prozori> 12.09.2015.

<http://www.ecvv.com/product/3782162.html> 14.08.2015.

<http://www.gpz-opskrba.hr/default.aspx?id=128> 12.09.2015.

<http://www.hep.hr/ods/kupci/poduzetnistvo> 12.09.2015

<http://www.its-rb.hr/images/pocetna/skladista.jpg> 12.09.2015.

<http://www.logomatika.hr/proizvodi-i-usluge/regali-i-podesti/policni-regali/> 15.08.2015

<http://www.nzdl.org/gSDL/collect/hdl/index/assoc/HASHb5f9.dir/p105a.png> 12.09.2015.

http://www.optiterm.hr/energetski_ucinkovite_kuce.html 15.08.2015.

http://www.roofingsouthwest.com/image_up1/single_ply_roof_illustration.jpg 10.09.2015

<http://roofmylakehouse.com/wp-content/uploads/2015/06/EPDM-2.jpg> 12.08.2015.

<http://www.vectors.com/images/lev001.gif> 10.09.2015.

<http://www.vectors.com/images/sectional2.gif> 10.09.2015.

https://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch5en/conc5en/distribution_center_warehouse.html 12.08.2105.

https://www.fsb.unizg.hr/atlantis/upload/newsboard/05_06_2013__18997_Skladistenje_TL-5_1.pdf 01.09.2015.

https://www.fsb.unizg.hr/atlantis/upload/newsboard/07_06_2013__19011_Skladistenje_TL-5_8.pdf 01.09.2015.

Popis slika

Slika 1. Sustav isporuka proizvoda i komponenti.....	3
Slika 2. Tradicionalna distribucija i cross docking.....	4
Slika 3. Udio pojedinih troškova u ukupnim troškovima skladištenja	5
Slika 4. Uloga distribucijskih centara i skladišta u opskrbnim lancima	8
Slika 5. Vrste skladišta s obzirom na skladišnu opremu.....	14
Slika 6. Paletni regal	16
Slika 7. Police	16
Slika 8. Konzolni regal	17
Slika 9. Prolazni regali.....	18
Slika 10. Protočni regali.....	19
Slika 11. Horizontalni karusel.....	20
Slika 12. Vertikalni karusel.....	20
Slika 13. Vertikalni podizni moduli.....	21
Slika 14. Single Wide Aisle/Double Deep Rack Double Wide Aisle/Double Deep Rack	24
Slika 15. Mini-Load AS/RS /Micro-Load AS/RS sustav	24
Slika 16. Person-on-board AS/RS.....	25
Slika 17. Razlozi uvođenja energetske učinkovitih sustava	30
Slika 18. Sedam koraka gospodarenja energijom	33
Slika 19. Energetski certifikat za nestambene zgrade.....	35
Slika 20. Shematski prikaz funkcioniranja nekog objekta.....	36
Slika 21. Svi segmenti analize potrošnje energije i vode koji moraju biti obuhvaćeni tijekom pregleda zgrade	energetskog 37
Slika 22. Energetska bilanca skladišta	38
Slika 23. Pregled godišnje potrošnje energije i vode te pripadajućih troškova	41
Slika 24. Regulacija rasvjete ovisno o dnevnoj svjetlosti.....	46
Slika 25. Nacrt skladišta u simulacijskom alatu EnergyPlus	49
Slika 26. Krov s bijelim EPDM membranama.	59
Slika 27. Sustav za zaštitu od sunca.....	59
Slika 28. Brtvljenje utovarnih vrata	60
Slika 29. Prigušivači	60

Popis tabela

Tabela 1. Karakteristike prema stupnju mehanizacija	23
Tabela 2. Primjer preglednog prikaza energetske i troškovne bilance	42
Tabela 3. Primjer preglednog prikaza potrošnje električne energije	45
Tabela 4. Raspored i razina rasvjete unutar skladišnih prostora.....	54
Tabela 5. Pretpostavka HVAC sustava.....	56
Tabela 6. Osnovne i unaprijeđene vrijednosti infiltracije zraka	61
Tabela 7. Usporedba vrijednosti osvjetljenja.....	62
Tabela 8. Početna obilježja skladišnog objekta i sustava i obilježja nakon poboljšanja	64
Tabela 9. Troškovi instalacije energetski učinkovitih sustava.....	65
Tabela 10. Ušteda energenata i povrat investicije	66
Tabela 11. Sustavni pristup analizi energetske učinkovitosti skladišta i njegovo poboljšanje.....	69

Popis dijagrama

Dijagram 1. Troškovi prema stupnju automatizacije	22
Dijagram 2. Prodaja viličara u SAD-u u razdoblju od 1988. do 2007. godine.....	26
Dijagram 3. Udio industrijskih objekata u potrošenim količinama vode, emisije CO ₂ , proizvedenog otpada i potrošnje električne energije	31
Dijagram 4. Primjer prikaza jediničnih troškova za korištene energente	43
Dijagram 5. Krivulja trajanja opterećenja.....	43
Dijagram 6. Potrošnja energije i angažirana snaga.....	44
Dijagram 7. Raspored energetskog opterećenja skladišta.....	53
Dijagram 8. Uporaba rasvjete u skladištu	54
Dijagram 9. Korištenje rasvjete sa i bez senzorske rasvjete	63

